



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Ice Pigging and Beyond MUDP-projekt

MUDP Rapport

September 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
Loren Ramsay
Majbritt Lund
Gudmundur Andreassen
Anne Bjerrum Juhl
Rasmus Bærentzen

Fotos:
Gudmundur Andreassen
Rasmus Bærentzen
Loren Ramsay

ISBN: 978-87-7038-650-0

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.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense| Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Sammenfatning	7
Summary	9
1. Introduktion	11
1.1 Projektets formål	11
1.2 Baggrund for Ice Pigging	12
1.3 Vandledninger i Danmark	12
1.4 Bakterier i drikkevandssystemer	13
1.5 Isproduktion	13
1.6 Ice Pigging i praksis	14
2. Metoder og materialer	16
2.1 Fuldskala	16
2.1.1 De syv lokaliteter	16
2.1.2 Feltforberedelser	16
2.1.3 Fuldskala gennemførsel	18
2.1.4 Feltmonitoring og udtagne prøver	19
2.1.5 Hygiejne	20
2.2 Pilotskala forsøg	21
2.2.1 Forberedelse af pilotskala forsøg	22
2.2.2 Pilotskala gennemførsel	23
2.2.3 Udtagne prøver	23
2.3 Prøvetagningsmetoder	24
2.3.1 Vandprøver	24
2.3.1.1 Fuldskala	24
2.3.1.2 Pilotskala	24
2.3.2 Is-/vandprøver	24
2.3.3 Swab-prøver	25
2.4 Analysemetoder	26
2.4.1 Sedimentmængde	26
2.4.2 Standard bakteriepakke	26
2.4.3 ATP	26
2.4.4 Molekylære mikrobiologiske metoder	27
2.4.5 Metaller og NVOC	28
2.4.6 Istykkelse	28
2.4.7 Partikelstørrelse	28
3. Fuldskala resultater	29
3.1 Tekniske data fra fuldskala demonstrationer	29
3.2 Praktiske erfaringer	29
3.2.1 Hurtighed og effektivitet	30
3.2.2 Ventiler	30
3.2.3 Udskylning og indsætning af is	30
3.2.4 Entydig strømning	30
3.2.5 Støbejernsledninger	30

3.2.6	Kontaminering	31
3.2.7	Prøvetagning	31
3.3	Fjernede sedimentmængder	31
3.4	Sammensætning af oprenset materiale	32
3.5	Partikelstørrelser fra Coulter Counter	34
3.6	Mikrobiologisk analyse af den rene is	36
3.7	Mikrobiologisk analyser af drikkevandet	36
3.8	Molekylær mikrobiologiske metoder	41
3.9	Udviklingen af jernindholdet	42
4.	Testrig resultater	44
4.1	Tekniske data fra testrig Ice Pigging	44
4.2	Indløbets mikrobiologiske vandkvalitet	44
4.3	De opgravede rør	45
4.3.1	Kimtal og ATP i udløbet	45
4.3.2	ATP i biofilm	46
4.3.3	Molekylære mikrobiologiske metoder	47
4.3.4	Rørenes fysiske tilstand	49
4.4	Den nye PE-rulle	50
4.4.1	Kimtal og ATP i udløbet	50
4.4.2	ATP i biofilm	51
4.4.3	Molekylære mikrobiologiske metoder	51
5.	Multikriteriemodel	54
5.1	Scoring af parametre	55
5.1.1	Stagnationspunkt	55
5.1.2	Opholdstid	55
5.1.3	Lavpunkter i terræn	55
5.1.4	Ledningskategori	56
5.1.5	Materiale	56
5.1.6	Lægningsår	56
5.2	Vægtning af parametre	56
5.3	Prioriteringsindeks	57
5.4	Resultater	57
5.4.1	Generelt	57
5.4.2	Udvalgte ledninger i Aarhus Vand ledningsnet	58
5.4.2.1	Ringkøbingvej	58
5.4.2.2	Egsagervej	59
5.4.2.3	Lindevej	60
5.5	Multikriteriemodel - Diskussion	61
6.	Konklusioner og anbefalinger	62
6.1	Konklusioner	62
6.1.1	Planlægning	62
6.1.2	Gennemførsel af Ice Pigging	62
6.1.3	Opfølgning	63
6.1.4	Vidensopbygning	63
6.2	Anbefalinger	63
6.3	Perspektivering	64
6.3.1	Ice Piggings fremtid i Danmark	64
6.3.2	Nye ydelser	64
7.	Referencer	65

Bilag 1.Lokalitetsbeskrivelser	66
Bilag 2.SUEZ procesrapporter	67
Bilag 2.1 Ullerupdalvej 24-04-17	67
Bilag 2.2 BJOERNKAERVEJ 25-04-17	67
Bilag 2.3 Venusvej 26-04-17	67
Bilag 2.4 Ringkøbingvej 27-04-17	67
Bilag 2.5 Lindevej 27-04-17	67
Bilag 2.6 Egsagervej 28-04-17	67
Bilag 2.7 Sobakkevej 28-04-17	67
Bilag 3.Oversigt over analyserapporter fra Eurofins (metaller og bakterier)	68
Bilag 3.1 Ullerupdalsvej	68
Bilag 3.2 Bjoernkærvej	68
Bilag 3.3 Venusvej	68
Bilag 3.4 Ringkøbingvej	68
Bilag 3.5 Lindevej	68
Bilag 3.6 Egsagervej	68
Bilag 3.7 Soebakkevej	68
Bilag 4.Oversigt over DNA Sense resultater	69
Bilag 5.AAUs partikelresultater	70
Bilag 6.Oversigt over ATP resultater	71
Bilag 7.Wavin rapport rørenes tilstand	72

Sammenfatning

Ice Pigging er en innovativ teknik til rensning af den indvendige side af rør, hvor rensesfunktionen er baseret på fysiske principper. Teknikken blev introduceret i litteraturen i 2002 efter patentering i 2001 og gennemførelse af indledende forsøg i laboratoriet på University of Bristol i England. Ice pigging begyndte at blive anvendt kommercielt omkring 2010 og patentet blev købt af Aqualogy SUEZ i 2014. I dag udbredes teknikken hastigt og er anvendt i en række lande i Europa, Australien, USA, m.fl. Metoden er ikke tidligere anvendt i Danmark.

Den største motivation for at anvende Ice Pigging på drikkevandsområdet i Storbritannien er forbrugerklager over rødt vand. Sekundære motivationsfaktorer inkluderer formindskelse af chlorudgifter som følge af chlorreaktioner med skidt i rørene samt reduktion af problemer med tilstopning af rør. Teknikken kan potentiel anvendes til fjernelse af luftlommer i rør samt til at fremme oprensning efter en mikrobiel kontaminering.

I denne rapport dokumenteres den første anvendelse af Ice Pigging i den danske drikkevandsbranche. Projektets finansiering er baseret på fondsmidler fra Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet og projektdeltagernes egenfinansiering. Projektet er gennemført af EnviDan A/S (projektejer), Aarhus Vand, TREFOR Vand, VIA University College og SUEZ (som underleverandør).

De overordnede formål med projektet er:

1. fuldskala demonstration af metoden i Danmark
2. opsamling af praktiske erfaringer
3. belysning af en række huller i den nuværende viden omkring metoden samt
4. udvikling af nye ydelser baseret på en intelligent anvendelse af metoden.

Projektarbejdet har inkluderet undersøgelser i fuldskala såvel som pilotskala. Fuldskalaundersøgelserne bestod i praktisk udførsel af Ice Pigging på 7 forskellige strækninger i TREFOR Vand og Aarhus Vands ledningsnet. Her blev der rensset en total længde på 3,2 km ledningsstrækning, fordelt på rørdiameter mellem 80 og 200 mm og 3 rørmaterialer (PVC, PE og støbejern). Til pilotskala blev en testrig opstillet på Lysholt Vandværk, Vejle. Opbygningen af testriggen blev designet, således at flere drikkevandsledninger kunne testes parallelt. Disse rør omfattede 3 opgravede sektioner af 3 m hver samt en ny 100 m PE ledningsrulle. Desuden omfattede projektarbejdet udarbejdelse af en multikriteriemodel til udpegning af rørstrækninger, der med høj sandsynlighed er belastede med partikler.

Rapporten konkluderede at planlægningsarbejdet er ret omfattende med udpegning af strækninger, test af ventiler og varsling af forbrugere. Selve rensningen krævede kort tid (ca. 1½ time pr. strækning, og brugte meget lidt vand (1,7 – 6,3 rørvolumener til skylning). Hovedparten men ikke al biofilmen i rørene blev fjernet, hvilket kan evt. være en fordel for den efterfølgende mikrobielle kvalitet af vandet. Der blev ikke observeret stigning i kimtallet i perioden efter Ice Pigging (med en enkelt undtagelse). Hermed var der ikke nye afrivningstoppe, selv i et nyt rør. Det betyder, at rensede ledninger kan idriftsættes til forbrug umiddelbart efter pigging.

Resultaterne karakteriserede det fjernede materiale. Her fandt man stor overvægt af små jernoxidpartikler. Undersøgelserne viste en variation i det bakterielle samfund, der blev fjernet ved isen mellem de forskellige ledningsstrækninger. Det forhøjede kimtal i perioden ca. 14 dage

efter idriftsættelse af nye rør primært skyldtes primært *Pseudomonas* bakterier. Det kan være at disse bakterier lever på alkylphenoler, der frigives fra PE-materialet.

Rapporten anbefaler at der udarbejdes en protokol til udvidet forundersøgelser samt en protokol til hygiejne. Desuden anbefales oprettelse af en landsdækkende database til indsamling af kommende Ice Pigging data samt en kalibrering af multikriteriemodellen.

Dette projekt har sat fokus på at turbiditet i perioden efter returskyllning kan være en hovedårsag til akkumulering af partikulært materiale i drikkevandsledninger. Hermed er det oplagt, at der tilbydes nye ydelser vedrørende forbedring af returskyllning på vandværkerne.

Summary

Ice Pigging is an innovative technique for cleaning the inside of pipes, where the cleaning function is based on physical principles. The technique was introduced in the literature in 2002 following patenting in 2001 and completion of initial tests at the laboratory of the University of Bristol, England. Ice pigging began to be used commercially around 2010 and the patent was purchased by Aqualogy SUEZ in 2014. Today, the technology is spreading rapidly and used in a number of countries in Europe, Australia, USA, etc. The method has not previously been used in Denmark.

The biggest motivation for using Ice Pigging in drinking water in Britain is consumer complaints about "red water". Secondary motivational factors include reducing chlorine costs due to chlorine reactions with particulate matter in the pipes as well as reduction of pipeline clogging problems. The technique can potentially be used to remove air pockets in pipes and to speed up remedial flushing after a microbial contamination.

This report documents the first use of Ice Pigging in the Danish drinking water industry. The project's funding is based on subsidies from Danish Eco-Innovation Program (MUDP) and project participants' own funding. The project was carried out by EnviDan A / S (project owner), Aarhus Water, TREFOR Water, VIA University College and SUEZ (as subcontractor).

The overall purpose of the project is:

1. Full scale demonstration of the method in Denmark
2. Collection of practical experience
3. Improving current knowledge about the method, and
4. Development of new services based on an intelligent application of the method.

The project work has included full scale and pilot scale studies. The full scale surveys consisted of the practical execution of Ice Pigging on 7 different sections of the TREFOR Water and Aarhus Water distribution networks. Here, a total length of 3.2 km of pipes was cleaned, and included pipe diameters between 80 and 200 mm and 3 pipe materials (PVC, PE and cast iron). For the pilot scale studies, a test rig was set up at Lysholt Vandværk in Vejle. The design of the test rig was such that more several pipes could be tested in parallel. Three excavated sections of 3 m each were selected along with a new roll with 100 m PE pipe. In addition, the project work included the preparation of a multicriteria model for the identification of pipelines that are highly likely to be affected by particulate matter.

The report concluded that the planning phase of the work is quite extensive with the selection of pipeline sections, valve testing and preparation of consumer advisories. The actual performance of cleaning required a short time (about 1½ hours per section, and consumed very little water (1.7 - 6.3 pipe volumes for flushing). Most but not all the biofilm in the pipes was removed, which may be an advantage for the subsequent microbial quality of the water. No increase in plate count numbers was observed during the period following Ice Pigging (with a single exception). This meant that no new biofilm detachment spikes were seen, even in the new PE pipe. This means that cleaned pipes can be put into service immediately after pigging.

The results characterized the removed material. Here, the large majority consisted of small iron oxide particles. The studies showed a variation between the various pipelines in the bacterial community that was removed by the ice. The increased plate count numbers in the period approx. 14 days after commissioning new pipes was primarily due primarily to *Pseudomonas* bacteria. It may be that these bacteria live on alkyl phenols released from the PE material.

The report recommends preparation of a protocol for extended preliminary investigations and for hygiene. In addition, it is recommended to establish a nationwide database for collecting upcoming Ice Pigging data as well as a calibration of the multicriteria model.

This project has highlighted that turbidity during the period immediately following backwash of sand filters may be a major cause of accumulation of particulate matter in drinking water pipelines. It may therefore be relevant to offer new services to waterworks to improve turbidity levels following the backwash of sand filters.

1. Introduktion

En "gris" (eng. = pig) er en anordning, der sendes igennem en rørledning (Quarini & Shire, 2007). Der findes mange forskellige udformninger af grise (fx svampe, faststøbt plastik, gel, luft), og de kan drives igennem røret af tryk fra rørets væske af egen kraft eller være tøjret og trukket. Formålet med grise er at rense ledningen, at adskille produkter i røret, at inspicere eller at vedligeholde. Metoderne kaldes under et "pigging" metoder. Brug af grise er gængs i olieindustrien (Gupta & Sircar, 2016), men bruges også i kemisk- og levnedsmiddelindustrier samt i vandbranchen. Ice Pigging er en ny teknik baseret på at lade vandtryk skubbe en tyk, salt isgrød gennem et rør for at rense røret.

I denne rapport dokumenteres den første anvendelse af Ice Pigging i den danske drikkevandsbranche. Rapporten indledes med en kort introduktion til teknikken. Senere kapitler omhandler de anvendte metoder og de opnåede resultater fra en praktisk afprøvning af Ice Pigging i pilot- og fuldskala. Desuden inkluderes oplysninger om udvikling af en multikriteriemodel til prioritering/udpegning af områder i et ledningsnet med sandsynligt behov for rensning.

Denne rapport markerer afslutningen af et projekt med titel "Ice Pigging & Beyond". Projektets finansiering er baseret på fondsmidler fra Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet og projektdeltagernes egenfinansiering. Projektet er gennemført af:

- EnviDan A/S (projektejer)
- Aarhus Vand
- TREFOR Vand
- VIA University College
- SUEZ (underleverandør)

1.1 Projektets formål

De overordnede formål med projektet er:

1. fuldskala demonstration af metoden i Danmark
2. opsamling af praktiske erfaringer
3. belysning af en række huller i den nuværende viden omkring metoden samt
4. udvikling af nye ydelser baseret på en intelligent anvendelse af metoden.

Delformålene med fuldskalaforsøgene er:

- Vurdering af idriftsætning efter Ice Pigging
- Karakterisering af det fjernede materiale.

Delformålene med pilotskalaforsøgene er:

- Belysning af biofilm dispersion ved idriftsætning af nye rør
- Genetablering efter Ice Pigging
- Den fysiske effekt af Ice Pigging på PE rørs integritet
- Effekt af is med forskellige tykkelser på fjernelse af biofilm.

Projektet har ikke haft til formål at sammenligne Ice Pigging med andre oprensningsmetoder eller at vurdere om metodens rensresultater står i forhold til udgifterne.

1.2 Baggrund for Ice Pigging

Fjernelse af diverse former for skidt fra overflader er både en tids- og energikrævende aktivitet i mange brancher. Historisk set har man anvendt metoder baseret på termiske, mekaniske og kemiske principper. Man kan skelne mellem metoder, der renser overflader og metoder, der desinficerer overflader. Nogle metoder kan gøre begge dele (Otto, et al., 2011).

Ice Pigging er en innovativ pigging teknik, hvor funktionen er baseret på fysiske principper. Teknikken blev introduceret i litteraturen i 2002 efter patentering i 2001 og gennemførsel af indledende forsøg i laboratoriet på University of Bristol (Quarini 2002). I denne tidlige artikel blev der peget på potentielle anvendelser i forbindelse med rensning af varmeveksler i energiindustrien, clean-in-place (CIP) af rør i levnedsmiddelindustrien samt rensning af vandledninger på drikkevandsområdet.

Ice pigging begyndte at blive anvendt kommercielt omkring 2010 og patentet blev købt af Aqualogy SUEZ i 2014. I dag udbredes teknikken hastigt og er anvendt i en række lande i Europa, Australien, USA, m.fl. Metoden er ikke tidligere anvendt i Danmark.

Den største motivation for at anvende Ice Pigging på drikkevandsområdet i Storbritannien er forbrugerklager over rødt vand. Sekundære motivationsfaktorer inkluderer formindskelse af chlorudgifter som følge af mindre skidt i rørene samt reduktion af problemer med tilstopning af rør. Teknikken kan potentiel anvendes til fjernelse af luftlommer i rør samt til at fremme oprensning efter en mikrobiel kontaminering.

Flere af de større danske vandforsyninger har over 1.000 km vandledninger. Tilsammen er der mere end nok danske vandledninger til at strække sig rundt om kloden. Derfor har forsyningsbranchen meget fokus på asset-management i forbindelse med vandledninger. Danmark har opnået et af verdens absolut laveste vandtab fra vandledninger, men har haft begrænset fokus på at holde disse vandledninger rene.

Der er to særlige forhold i Danmark, der gør at vandledningernes renhed er særlig vigtig. For det første, er dansk drikkevand baseret på grundvand, der ofte indeholder mere jern og kalk end vandet, der anvendes til drikkevandsproduktion i andre lande. Hermed er der en stor risiko for at danske vandledninger bliver beskidte. For det andet, anvendes der ikke desinfektionsmidler i dansk drikkevand. Hermed kan skidt i vandledninger give anledning til forringelse af drikkevandets mikrobiologiske kvalitet.

Hovedparten af vandledninger i Danmark renses ikke. Hvor der er særlig behov, er de mest udbredte teknikker skylning med vand og rensning med en svampe. Disse to teknikker har dog ulemper, herunder mindre effektivitet og stort tidsforbrug (skylning) og manglende fleksibilitet (svampe). Ice Pigging vurderes at være en bedre teknik i forhold til disse ulemper.

Gennem de senere år er der udført en del forskning omkring isens termiske aspekter og dens skurrende kræfter mod rørvæggene (Quarini et al., 2013). Til gengæld mangler der viden om teknikkens virkning i ikke-desinficerede systemer (indflydelse på rørvæggens biofilm og risiko for opblomstring af bakterier efter behandling). Der mangler også viden om sammensætningen af det skidt, som teknikken fjerner. Desuden findes der ingen database til opsamling af viden fra Ice Pigging-projekter med henblik på at kunne forudse rensningsbehov på forskellige strækninger eller belyse årsagen til at skidtet samles.

1.3 Vandledninger i Danmark

Der er flere typer ledninger i den danske forsyningsbranche, der kan trænge til rensning. Disse kan inddeles i følgende typer:

- Transmissionsledninger

- Distributionsledninger
- Stikledninger
- Råvandsledninger.

Vandleddninger er fremstillet af flere materialetyper. I Danmark er nye rør typisk lavet af PE. Ældre materialer, der endnu vil være en del af distributionsnettet i mange år fremover inkluderer, PVC, støbejern, og asbestcement/eternit. Især støbejern er udsat for korrosion og kan udvikle en meget ujævn indvendig overflade, der er så hårdt, at den ikke kan renses glat igen.

Der findes forskellige forhindringer inden i rørene, der har betydning for renseprocesser: Disse inkluderer forgreninger (herunder stikledninger), vulster ved sammensvejsning af plastik rørsektioner, ventiler, dimensionsskift, og bøjninger. Evnen til at passere sådanne forhindringer er en af Ice Pigging-metodens styrker.

1.4 Bakterier i drikkevandssystemer

I både chlorede og ikke-chlorede drikkevandssystemer, udvikles der en biofilm på den indvendige side af rørvæggene (Liu, 2016; Wingender, 2011). Fjernelsesgraden af denne biofilm ved forskellige typer rensning af rør, herunder Ice Pigging, er ikke velundersøgt.

Udover biofilm på rørvægge findes der løse sediment i vandrør (Liu 2014; Vreeburg et al., 2008). Det vurderes, at halvdelen af bakterierne i vandrør ligger i det løse sediment og halvdelen i biofilmen på rørvæggen, mens mængden af bakterier i vandfasen er ubetydelig i forhold til de andre kilder.

Eftervækst er et fænomen, hvor antallet af bakterier i vandfasen målt som kim 22 stiger ved, at de formerer sig over en periode på fx 1-2 uger. Dette kan ske i perioden efter en vandprøve er udtaget i en flaske eller i perioden, hvor vandet strømmer gennem distributionsnettet fra vandværket til forbrugerens taphane. Eftervækst afhænger typisk af vandfasens indhold af assimilerbart organisk carbon (AOC) og næringsstoffer, herunder phosphor. Det er tidligere fundet, at AOC normalt udgør kun en lille del af vandets NVOC (nonvolatile organic carbon). En undersøgelse på 10 danske vandværker viste, at der uden undtagelse var tale om eftervækst målt som kim 21 over en 14-dages periode, at AOC lå under 10 µg/L for 6 ud af 10 værker, og at der kun var en svag sammenhæng mellem AOC og NVOC (Jørgensen, et al., 2002). Biologisk stabilt vand er et udtryk for vand, hvor der ikke sker eftervækst fx ved en opholdstid på 1 uge i vandrørene (Prest et al. 2016; Zhang et al. 2016).

Biofilm dispersion er et andet fænomen. Dette sker, når bakterier, der sidder fx i en biofilm på indersiden af et vandrør, hopper ud af biofilmen og inde i vandbanen med henblik på at finde bedre levevilkår længere nedstrøms. Biofilm dispersion kan forårsage en karakteristisk stigning af bakterier målt som kim 22 fx 1-2 uger efter nedgravning af nye PE rør. I dette tilfælde kan biofilm dispersion skyldes, at de nye PE rør har de første dage afgivet nedbrydelige phenoler, som er tilsætningsstoffer til PE. Afgivelsen muliggør dannelse af biofilm, hvorefter biofilm dispersion begynder når phenolafgivelsen falder. Det bemærkes, at en stigning forårsaget af biofilm dispersion – i modsætning til eftervækstfænomenet - ikke er et udtryk for en vækst, men snarere en forringelse af biofilmens levevilkår.

1.5 Isproduktion

Produktion af isgrød til Ice Pigging foregår ved anvendelse af det lokale drikkevand og 5% salt med fødevarer kvalitet. SUEZ har valgt salt til at sikre en frysepunktssænkning frem for andre potentielle kandidater såsom ethylenglykol og natrium acetat. Ved brug af 5% salt sikres i praksis en istemperatur på ca. -5 til -6 °C.

Projektets underleverandør og operatør SUEZ anvender to metoder til isproduktion:

- 1) Ziegra batch proces: en ældre metode, hvor brakvand afkøles under omrøring og recirkulation i en 2000 liter tank. Under omrøring sker en "Oswald ripening", som sænker isens sheer kræfter, når den anvendes i vandrør. Det tager 24 timer til at lave en batch afhængig af vejret. Metoden anvendes, hvor der er brug for mindre ismængder.
- 2) Kontinuerlig metode: en nyere metode, hvor drikkevand afkøles til is, som derefter knuses, og der tilføres salt. Metoden anvendes, hvor der er brug for store ismængder.

Forholdet mellem is og saltvand er vigtigt, da hver blandingsforhold har sin egne sheer kræfter og dermed renseeffekt. En tykkere isblanding kan fremstilles ved at afdræne vand fra is/vandblandingen, operatøren (SUEZ) anvender typisk en 85 % tykkelse målt ved en bestemt teknik (se afsnit 2.4.6). Operatøren har også oplyst, at der anvendes forskellig issammensætning alt efter den pågældende lednings materialesammensætning (støbejern, PVC, PE, etc.). Ved støbejernsledninger er der risiko for, at en hård is kan blotlægge ledningsvæggen ind til råjernet, hvormed der risikeres at frigive jern til drikkevandet efter endt rensning i takt med korrosion af råjernet.

1.6 Ice Pigging i praksis

Forskellige lande har forskellige traditioner, hvad angår rensning af drikkevandsledninger. For eksempel renses Frankrig ikke normalt vandledninger med gris, men forsøger at bruge hyppige selvrensende flowhastigheder og natskylninger. Omvendt har Storbritannien tradition for proaktiv rensning. Danmark har et varieret mønster, hvor både råvandsledninger og ledninger i distributionsnettet renses, men denne praksis har begrænset udbredelse.

Generelt kan man tale om vedligehold enten som en afhjælpende aktivitet efter at en fejl er opstået, som en planlagt aktivitet for at forebygge driftsstop eller som en tilstandsbaseret aktivitet. Det vurderes, at Ice Pigging typisk vil blive anvendt som afhjælpende aktivitet (som reaktion på forbrugerklager) eller som et planlagt vedligehold på udsatte strækninger. I fremtiden kunne monitorering (fx med en følsom turbiditetsmeter) eventuel muliggøre en tilstandsbaseret vedligehold. Det må også forventes at efterhånden som mulighederne for at udpege egentlige problemområder øges, vil behovet for de mere proaktive tiltag til rensninger, som fx Ice Pigging, også øges. I dag observeres der af og til problemer med misfarvet vand, men den egentlige kilde og årsag til problemet er ofte ukendt eller usikker.

I Storbritannien gennemfører operatøren typisk Ice Pigging på 1-3 km strækninger ad gangen på vandledninger med dimensioner i intervallet 150-250 mm. Isen presses igennem rørene ved hjælp af det normale vandtryk i røret. Normalt er det nødvendige tryk 1-2 bar. Operatøren sigter normalt efter et flow på ca. 0,5 m/s (1 km på en god ½ time), men det aktuelle flow afhænger af det lokale vandtryk og modstanden i røret. Hvis flowet er lavt, kan der kun oprenses korte strækninger ad gangen, da isen vil ellers smelte i røret (i stedet for at blive afledt) og tage en del af det opsamlede materiale i røret igen. Støbejernsledninger er særlig udfordrende, da materialets høj termisk ledningsevne smelter isen hurtigere.

Operatøren kan producere 100 t is/uge på lokaliteten ved hjælp af en stor isbil. Operatøren har desuden såkaldt "delivery units" til rådighed, der anvendes til opbevaring af is og inkluderer af en blander, men ingen køleenhed. Delivery units har en kapacitet på 10-15 tons og isen kan opbevares i ca. 24 timer, afhængig af vejret. Operatørens lille isbil kan producere ca. 2 tons/dag. Til testen blev der anvendt operatørens lille isbil.

Tilførsel af is til en ledningsstrækning kan foretages gennem en brandhane eller en 2½ tommer rør koblet direkte på vandledningen. Afledning kan ske gennem en brandhane og føres

enten til kloak eller opsamles i en slamsuger. Da saltvandet får planter til at gå ud, skal der udvises forsigtighed i forbindelse med afledning fx i nærheden af haver.

Efter Ice Pigging er det nødvendigt at skylle rørene med få rørvoluminer vand indtil turbiditeten falder. Normalt ses en turbiditetshale, der typisk falder indenfor 5-10 minutter for mindre rørdiametre. Skyllningen skal dog ikke være større end ca. 1,5 m/s, da der ellers er risiko for at trække turbiditet fra beskidte rør opstrøms. I den udførte test blev der desuden skyllet ekstra ved de steder, hvor der var andre ledninger tilkoblet det rensede ledningsstrækning således at risikoen for at der fremkom lommer af saltvand fra rensningen blev mindsket. Dette blev udført med henblik på at sikre, at kunder havde mindst mulig risiko for at opleve saltvand og/eller misfarvet vand.

Det er normal praksis, at forbrugere altid bliver varslet inden Ice Pigging. Hvis en forbruger tænder for vand i de minutter, hvor Ice Pigging finder sted, kommer der rødt vand ud af hanen. Isen passerer ikke stikledningens vandmåler, hvorfor der ikke vil komme is ud af hanen. Da vandet smager af salt og er rødt, er risikoen for at forbrugeren drikker dette potentielt giftige vand minimal.

Rensede vandledninger underkastes normalt ikke en visuel inspektion. Derfor er det nødvendigt at anvende et alternativt succeskriterium for at bedømme, om rensningen er vellykket. Et muligt succeskriterium er raten, hvormed sedimentindholdet i de udtagne prøver falder til sidst i isproppen. I laboratorieforsøg (hvor der er adgang til rørene) kan indersiden af et rensat rør gnides med en serviet og afsmitningen aflæses på serviettens farven (såkaldt "tissue test").

2. Metoder og materialer

2.1 Fuldskala

Til demonstration af Ice Pigging i fuldskala blev syv ledningsstrækninger rensset ved Ice Pigging.

2.1.1 De syv lokaliteter

De syv ledningsstrækningerne blev udvalgt ud fra pragmatiske kriterier (om der var passende placering af ventiler og adgang til vandbanen) samt nedenstående kriterier:

- Materiale (PVC, PEK, støbejern)
- Dimension (ø80-200 mm)
- Ledningstype (råvandsledning, distributionsledning)
- Klager over rødt vand
- Forstyrrelse af så få kunder som muligt

En oversigt over de udvalgte strækninger vises i TABEL 1. Yderligere data for hver lokalitet kan ses i Bilag 1.

TABEL 1. Oversigt over fuldskala lokaliteter.

Dato	Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Yderligere kriterier
Man 24/04	Ullerupdalvej 11, Fredericia	60	Ø200	PVC	Få kunder forstyrres
Tir 25/04	Bjørnkærvej, Vejle	144	Ø160	PEK	Råvandsledning
Ons 26/04	Venusvej 20, Fredericia	350	Ø160	PVC	Få kunder forstyrres
Tors 27/04	Ringkøbingvej, Aarhus	590	Ø100	Støbejern	Klager over misfarvet vand
Tors 27/04	Lindevej, Aarhus	650	Ø80/100	Støbejern	Klager over misfarvet vand
Fre 28/04	Egsagervej, Aarhus	650	Ø160/110	PVC	Klager over misfarvet vand
Fre 28/04	Søbakkevej, Tilst	756	Ø90	PVC	-

2.1.2 Feltforberedelser

I forbindelse med klargøring af ledningsstrækningerne, blev ventiler opstrøms og nedstrøms kontrolleret. Ventilerne blev lukket, og der blev lyttet på ventilerne. Det viste sig dog på dagen, at flere af de ventiler, som var fundet tætte under afprøvningen, ikke var 100 % tætte, og det var derfor nødvendigt at udvide området. Baggrunden for den divergens er, at der er en meget lille trykforskel hen over ventilen og dermed meget lidt, som kan give den en lyd, der indikerer utætheden. Dette opdages bedre, når større dele af ledningsnettet lukkes af, hvilket medfører større trykforskel og mere lyd, men også større risiko for at kunderne bliver berørt af aflukningen.



FIGUR 1. Motionering af ventil, Venusvej i Fredericia.

Adgang til vandbanen er vigtig for metoden. Til indføring af isen samt til udløb blev der anvendt tre forskellige metoder, se FIGUR 2:

1. Brandstandere. Her skulle det sikres, at der i indløbsbrandstanderen ikke var kontra-ventil, og at filteret både i indløb- og udløbsbrandstanderen blev fjernet. Desuden viste det sig, at ledningsdimensionen på stikket, som forsyner brandstanderen, er ret væsentlig for effektiviteten af rensearbejdet.
2. Anboring. Hvor der ikke var brandstandere til rådighed (Ullerupdalvej og Venusvej) blev ledningen frigravet og ancoret med nye ledninger til ind- og udløb. I tilfælde hvor der kun var én brandstander til strækningen samt hvor flowretning tillod det, blev standeren valgt til udløb af hygiejniske hensyn.
3. Råvandsstation. Til den valgte råvandsledning (Bjørnkærvej) blev en passende kobling opsat ved afgang boring.



FIGUR 2. Anboret afgang, Venusvej og brandhane afgang, Ringkøbingvej.

I forbindelse med feltforberedelser er det også nødvendigt at identificere en afledningsløsning for det beskudte is og vand under pigging, se FIGUR 3. Visse steder var det muligt at aflede til en spildevandsbrønd i vejbanen, efter aftale med spildevandsselskabet i den pågældende by.

Hvor dette ikke var muligt, skulle der være plads til en slamsluger til opsamling ved strækningens udløb.



FIGUR 3. Til venstre: Midlertidig opsamlingstank til udløbet med afløbsslangen vand vandledningen (blå) og tømningsslange til slamsuger (grå), Venusvej. Til højre: afledning til kloak, Esagervej.

2.1.3 Fuldskala gennemførsel

Gennemførsel af Ice Pigging i fuldskala blev gennemført ved hjælp fra leverandørens isbil fra Bristol, England, se FIGUR 4. Bilen blev udnyttet til at danne isen, opbevare den, samt udpumpe isen til vandledningerne.



FIGUR 4. Leverandørens Ice Pigging isbil.

Under Ice Pigging blev der normalt anvendt det maksimum flow, som den aktuelle vandledning kunne præstere. Undtagelsen var Bjørnkærvej, hvor der blev droslet ned, indtil isen nåede frem til udløbet (for at sikre, at der var tid til at udtage prøverne), hvorefter almindelig flow blev anvendt. Flere detaljer omkring forhold under gennemførsel ses i leverandørens rapporter i Bilag 2.

2.1.4 Feltmonitering og udtagne prøver

Under Ice Pigging udførte operatøren monitorering ved hjælp af en monitoringsvogn også kaldet Flow Analysis System (FAS-vognen), FIGUR 5.

FAS-vognen inkluderede turbiditet, flow, tryk, ledningsevne og temperatur. Fast stof blev beregnet ud fra turbiditeten ved brug af en kalibreringskurve.



FIGUR 5. SUEZ Flow Analysis System (FAS-vogn) til feltmonitering.

Alt vand og is fra vandledningens afgang passerede denne vogn. FAS-vognen var i stand til at måle parametrene angivet i TABEL 2. Operatøren udarbejdede en rapport med bl.a. resultaterne fra deres FAS-vogn monitorering, se Bilag 2.

TABEL 2. Parametre, der monitoreres ved hjælp af operatørens FAS-vognen.

Parameter	Målehyppighed	Enheder
Temperatur	1 gang/s	Celcius
Ledningsevne	1 gang/s	mS/cm
Vandflow	1 gang/s	L/s
Turbidity	1 gang/s	NTU
Tryk	1 gang/s	bar

Alle målinger blev logget med tidsstempel. Turbiditeten blev målt til nærmeste 0,1 NTU, men steg under Ice Pigging op mod 100 NTU. Flowmåleren var magnetisk for at isen ikke forstyrrede flowmålingen. Ud over trykmålingen ved FAS-vognen, blev trykket målt ved indløbet. Disse målinger skal være meget nøjagtige for at kunne følge isens passage.

Ud over disse målinger havde FAS-vognen også en taphane til manuel udtagning af is-/vandprøver, se FIGUR 6.



FIGUR 6. Udtagning af isprøve fra Flow Analysis System (FAS-vognen).

Under Ice Pigging blev prøver udtaget i 200 ml flasker hvert minut til at måle tørvægten af det fjernede materiale. Desuden blev der udtaget en række yderligere prøver til forskellige analyser. Efter Ice Pigging blev vandkvaliteten i de rensede ledningsstækninger fortsat fulgt enten ved udtagning af manuelle prøver eller ved hjælp af en opstillet målekasse (Aarhus Vand). En oversigt over alle udtagne prøver ses i TABEL 3.

TABEL 3. Oversigt over udtagne manuelle prøver, fuldskalademonstration.

Metoder	Prøvetype									
	Vand	Is Swab	Selve isen	Ullerupdalvej	Bjørnkærvej	Venusvej	Ringkøbing-vej	Lindevej	Egsagervej	Søbakkevej
Mængde		✓		10	19	13	9	3	9	10
Metalpakke		✓			2	2	1	1	1	1
NVOC		✓			2	2	1	1	1	1
Bakteriepakke	✓	✓	4	7	9	7	12	12	27	12
Kornstørrelse		✓			1	1	1	1	1	1
qPCR, NGS		✓			1	1	1	1	1	1
ATP		✓			1	1	1	1	1	1

2.1.5 Hygiejne

Leverandøren arbejder normalt under forhold, hvor drikkevandet er desinficeret med chlorprodukter. Det kan være medvirkende til begrænset fokus på hygiejne i forhold til den opmærksomhed, som den danske vandbranche ellers giver dette hygiejnespørgsmål. Dette blev bemærket i forbindelse med renhed af tøj, håndtering af transportrør fra isbilen til tilløbsstedet og påpasselighed ved tilkoblinger. Undervejs blev der indført procedurer såsom afspritning af rørender ved tilkobling fra isbilen.

2.2 Pilotskala forsøg

Til udførsel af en række mikrobiologiske undersøgelser i forbindelse med Ice Pigging blev en testrig opstillet i pilotskala på Lysholt Vandværk, Vejle. Opbygningen af testriggen blev designet, således at flere drikkevandsledninger kunne testes parallelt, se FIGUR 7.

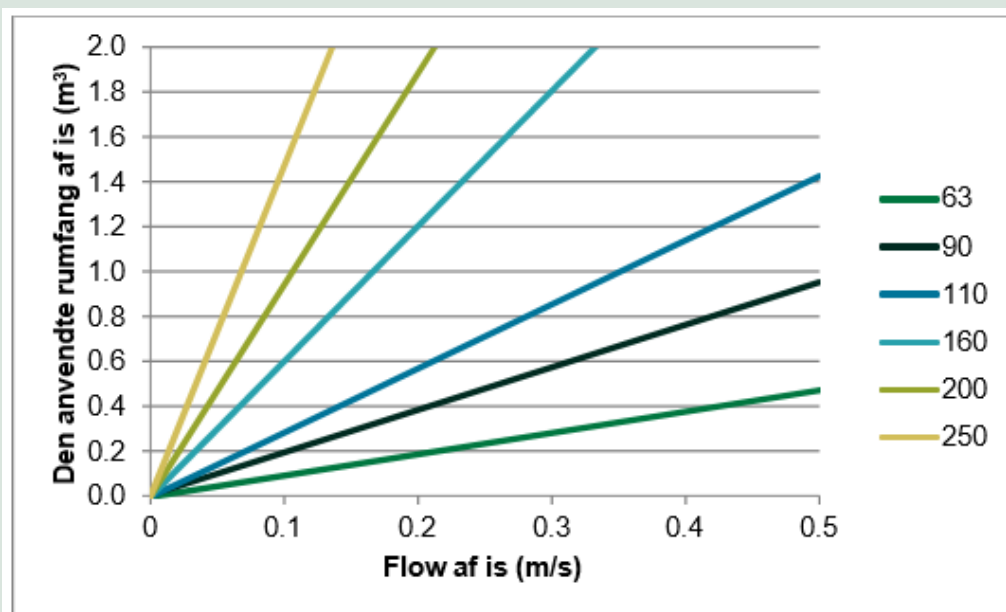


FIGUR 7. Opstillingen viser testriggen med de tre PEM rør, G1, G2 og G3, samt den nye PE-rulle synlig under disse.

Til forsøgene blev der anvendt følgende rør:

- a) En Ø110mm PEM drikkevandsledning, opgravet fra det aktive ledningsnet i forbindelse med projektet. Ledningen blev skåret i tre stykker med en længde på 3 m hver (benævnt G1, G2 og G3). Rørstykkerne blev rensat med tre forskellige istykkelser (se afsnit 2.4.6), hvorefter både på mikrobiologi og rørmaterialet blev evalueret.
- b) En ny rulle på 100 m af Ø50 mm PE drikkevandsledning.

Til efterligning af en fuldskala oprensning, er der i pilotskala behov for at tilføre den normale mængde is - selv når der er tale om et kort rørstykke i laboratoriet. Nedenfor ses en oversigt over den nødvendige ismængde for forskellige flow og rørdimensioner, hvis der sigtes efter at isen passerer et punkt på fem minutter, FIGUR 8. Som det ses af grafen, er operatørens lille isbil (med kapacitet på 2 m³) generelt for lille til rørdiameter større end Ø110 mm.



FIGUR 8. Oversigt over den nødvendige ismængde for forskellige flow og rørdimensioner (udgangspunkt – det tager 5 min for isen at passerer et punkt).

2.2.1 Forberedelse af pilotskala forsøg

Den brugte drikkevandsledning Ø110mm PEM til opbygningen af testtriggen, har været i drift siden omkring år 2000 og forsyner 40-50 husstande i et villakvarter ved Gaiavej i Vejle. Røret blev opgravet fra det aktive ledningsnet den 3. april 2017. En rørlængde på 9 meter af ledningen blev gravet fri, over- og underside samt flowretning blev mærkeret. Derefter blev røret isoleret ved at klemme røret, og vandet blev tømt fra strækningen ved at bore huller i rørets top og derefter sider og bund. Røret blev skåret i tre lige store stykker á 3 meter uden af vende rørene (top var hele tiden top) og enderne blev lukket med poser og tape. Endelig blev stykkerne kørt til Lysholt Vandværk. De opgravede rør blev håndteret forsigtigt og hygiejnisk med fokus på at forstyrre biofilm og sedimentaflejringer så lidt som muligt. For hvert af de tre rør blev et stykke på omkring 30 cm skåret af og undersøgt med svaber til ATP-analyse samt med tissue test til visuel undersøgelse af afsmitning på hvid serviet.

Den nye drikkevandsledning anvendt i testrig opstillingen var en rulle Ø50 PE på 100 meter.

På testlokaliteten ved Lysholt Vandværk blev de tre opgravede rørstykker samt den nye Ø50PE monteret parallelt med nye rør og fittings. Testtriggens indløb blev tilkoblet med drikkevand direkte fra Lysholt Vandværk (Sektion Øst, kote 118). Udtagning af vandprøver var muligt ved et fælles indløb og samt udløb for hvert af de fire testede rørstykker, se opstillingen i FIGUR 7.

For at følge idriftsættelsen af testtriggen blev rørene skyllet i en indkøringsperiode, hvor mikrobiologien i vandfasen blev fulgt nøje, forud for forsøget med Ice Pigging. Det ønskede flow blev fastlagt ud fra en sammenligning med ledninger i drift i samme dimension, dog med et kontant flow (modsat ledninger i drift i ledningsnettet). Under indkøring blev der udtaget daglige prøver (med undtagelse af weekender og helligdage) for ATP og en bakteriepakke bestående af kim 22, kim 37, coliforme og E.coli. En oversigt over samtlige udtagne prøver for hele forløbet ses i TABEL 5.

Det nye Ø50mm PE rør havde en indkøringsperiode på 4,5 uge med et flow på ca. 0,8 m³/h. De opgravede rør havde en indkøringsperiode på 3 uger med et flow på ca. 0,9 m³/h.

2.2.2 Pilotskala gennemførelse

Ice Piggig blev udført tirsdag d. 25. april 2017 på alle fire rør i testtriggen. Der blev anvendt en almindelig istykkelse (ca. 85%) til det brugte rørstykke G1. Til rørstykket G2 og PE rullen blev der anvendt en istykkelse på ca. 80%, mens på G3 blev der anvendt en istykkelse på ca. 75%. Istykkelser blev ændret ved at tilsætte drikkevand eller dræne saltvand fra isbilen. Under Ice Piggig var der udfordringer med målekassens batteri på grund af fugt, hvorfor nogle feltmålinger ikke blev noteret.

Inden rensning med is blev omkring 30 cm rør skåret af og undersøgt med svaber til ATP-analyse samt med tissue test (se afsnit 2.4.3 for analysedetaljer). Umiddelbart efter Ice Piggig blev der ligeledes afskåret stykker til førnævnte analyser.

2.2.3 Udtagne prøver

Testtriggen blev efter selve rensningsforsøgene holdt i drift i yderligere fire uger med samme flow, som blev anvendt i indkøringsperioden. Til dokumentation af biofilmen efter rensning samt eventuel biofilm dispersion til vandfasen blev der udtaget daglige vandprøver (ind og ud) til mikrobiologisk undersøgelse ved Eurofins, med undtagelse af weekender og helligdage, på alle fire linjer på testtriggen.

I perioden med kraftig stigning i kim 22 og kim 37 aktivitet i vandprøver fra den nye Ø50 PE-rulle blev agarplader fra målinger gemt i fryseren til NGS målinger. TABEL 4 nedenfor viser disse prøver.

TABEL 4. Oversigt over dybdeudsædsprøver udtaget til molekylær mikrobiologiske analyser.

Nummer	Prøveidentifikation	Dato	Rørmateriale	Prøvematrix	Tidspunkt	Prøvemetode
18	PE 50mm ud	07-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	Kim 22C dybdeudsæd
19	PE 50mm ud	07-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	Kim 37C dybdeudsæd
20	PE 50mm ud	10-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	Kim 37C dybdeudsæd
21	PE 50mm ud	11-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	Kim 22C dybdeudsæd
22	PE 50mm ud	12-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	Kim 37C dybdeudsæd

Ved afslutning af forsøget blev der igen skåret et stykke af hver af de fire rør som blev undersøgt med svaber til ATP-analyse samt med tissue test. I alt blev der afskåret stykker af rørene i testtriggen fire gange til undersøgelse af ATP og tissue test på rørvæggen (prøveudtagningsdatoer: 3. april, 25. april før og efter, 6. juni 2017). Desuden blev omkring 50 cm af hver af de tre opgravede rør sendt til analyse ved rørleverandøren Wavin, for vurdering af eventuelt slid og forringelse af materialets kvalitet efter Ice Piggig.

TABEL 5 er en oversigt over alle de manuelle prøver udtaget i forbindelse med pilotskalaforsøget på testtriggen.

TABEL 5. Oversigt over udtagne manuelle prøver, testtrig.

Metoder	Prøvetype								
	Vand	Is	Swab	Agarplade	G1	G2	G3	PE rulle	Fællesindløb
Flow	✓				35	35	35	36	0
Bakteriepakke	✓	✓			33	33	32	40	40
ATP	✓	✓			26	26	26	33	33
qPCR, NGS			✓		3	3	3	2	0
qPCR, NGS				✓	0	0	0	4	0
ATP			✓		4	4	4	4	0

2.3 Prøvetagningsmetoder

Generelt blev vand- og isprøver udtaget fra taphaner. For at sikre god hygiejne blev prøvehanen renset ved afbrænding i et par sekunder forud for tilslutning til udløbet. Ved prøvetagningen blev hanen åbnet og lukket fem gange, hvorefter udløb gennem prøvehanen løb kontinuerligt i 1-2 minutter.

2.3.1 Vandprøver

2.3.1.1 Fuldskala

I forbindelse med forberedelsen til fuldskalademonstrationerne og aflukningen af strækningerne, blev der på nogle strækninger udtaget vandprøver til dokumentation. Desuden blev der, hvor det var muligt udtaget vandprøver fra ledningsnettet i umiddelbarnærhed af den udvalgte

strækning. Disse er noteret i lokalitetsbeskrivelserne for de enkelte strækninger i Bilag 1. I forbindelse med opstarten af hvert enkelt fuldskala demonstration blev der udtaget vandprøver efter skylning af brandhaner/anboringer, og før renseforsøgene blev sat i gang. Efter Ice Pigging blev der taget vandprøver fra strækningen umiddelbart efter afslutningen af renseforsøg med tilhørende afsluttende skylning.

Til monitorering af vandkvaliteten på de berørte strækninger, blev der i en periode på 3-9 uger efter Ice Pigging udtaget vandprøver fra samme prøveudtag som ved fuldskalademonstrationerne.

2.3.1.2 Pilotskala

Der blev udtaget vandprøver fra etablerede prøvetagningssteder ved ind- og udløb på hvert af de fire rør opstillet i pilotskalaforsøget. Der blev udtaget vandprøver dagligt i hhv. indkøringsperioden og den efterfølgende monitoreringsperiode efter renseforsøget. På selve dagen for Ice Pigging blev der ligeledes taget vandprøver ved ind- og udløb både før og efter renseforsøgene.

2.3.2 Is-/vandprøver

Under fuldskalarensforsøgene blev der udtaget is-/vandprøver fra en dertil indrettet hane på FAS-vognen. En serie af is-/vandprøver blev udtaget i små plastbeholdere for hvert ½-1 minut fra umiddelbart før isen begyndte at komme ud af udløbet og frem til vandet igen blev klart, se FIGUR 9. Alt efter forholdene på de enkelte strækninger blev der udtaget få prøver (2-3 stk.) op til mange prøver (18 stk.) Disse is-/vandprøver blev brugt til estimering af det samlede materiale udrenset under forsøgene (se 2.4.1).



FIGUR 9. Is-/vandprøver fra udløbet, udtaget for hvert 30 s fra Søbakkevej, Aarhus.

Derudover blev der også udtaget ekstra prøver af isen, omkring midtpunktet af isen, se FIGUR 10 (til højre). Disse prøver er udtaget i forskellige typer emballage bestemt af hvilke analyser, der skulle laves på prøverne. Fx blev prøven til kornstørrelsesanalyse udtaget i 1000mL glasflasker og prøver til mikrobiologisk blev udtaget i sterile plastflasker udleveret af Eurofins.

Prøver af isen til mikrobiologisk analyse blev udtaget direkte fra isbilen, se FIGUR 10 (til venstre).



FIGUR 10. Udtagning af is-/vandprøver direkte fra isbilen (venstre) og ved udløb vandledning (højre).

2.3.3 Swab-prøver

Der blev udtaget swab-prøver af rørenes biofilm/sediment i 30 cm rørstykker udtaget i forbindelse med testtriggen ved opgravning, umiddelbart inden Ice Pigging (og dermed efter indkøring), umiddelbart efter Ice Pigging samt efter en genetableringsperiode på mere end 1 måned, se FIGUR 11. Swab-prøverne blev analyseret for biodiversitet (NGS), bakteriemængde (qPCR) og bakterie aktivitet (ATP).



FIGUR 11. Udtagning af swab-prøve fra afskåret stykke af PEM-rør, testrig.

Til prøveudtagning blev der brugt en swab, der anvendes til ATP (DSA-kit). Swabben blev kørt hele vejen rundt inde i røret i en bane på ca. 2 cm bredde (ca. dobbelt så meget i en $\varnothing$ 50 mm rør), således at der kunne fås et repræsentativ udsnit af top, bund og sider. Swabbens bredde blev målt med lineal og noteret. Til pPCR og NGS analyserne blev den bløde del af swabben afskåret med skalpel, overført til eppendorfrør og sat i fryseren til analyse.

2.4 Analysemetoder

Til dette projekt blev der anvendt en række forskellige analysemetoder i felten og i laboratoriet. Disse metoder er beskrevet kort nedenfor.

2.4.1 Sedimentmængde

Sedimentmængden blev bestemt ved gravitation. Hele vandprøven på 200 ml afvejes. Prøven filtreres gennem en 0,20 μ m filter. Filtret tørres ved 90° for en periode, der afhænger af sedimentmængde, hvorefter filtret vejes. Sedimentmængden for en enkelt prøve opgives i g/L ved at dele massen af sedimentet (filtermassen trækkes fra) med hele vandprøvens masse (flaskens vægt trækkes fra).

Den fundne koncentration blev ganget med flowet og tidsintervallet ($\frac{1}{2}$ -1 minut), for hvilket koncentrationen antages at være gældende. Hermed fås antal g i tidsintervallet. Sedimentmængden i alle tidsintervallet summeres sammen. Den total sedimentmængde blev herefter normaliseret på basis af strækningens længde for at få resultater i kg/km.

2.4.2 Standard bakteriepakke

Til mikrobiologisk dokumentation blev der udført følgende standardanalyser af bakterier i vandprøver:

- Kim 22 – dybdeudsæd
- Kim 37 – dybdeudsæd
- Coliform – Colilert
- E. coli – Colilert

Vandprøverne blev analyseret ved Eurofins og følger deres analyseprocedurer.

2.4.3 ATP

Der blev udført analyse af cellulær ATP i is-/vandprøver samt total ATP i swab af biofilm fra rørvægge. Generelt blev vandprøver analyseret af TREFOR Vand på Lysholt Vandværk, mens

swabprøver og isprøver blev udført af VIA University College i Vandlaboratoriet på Campus Horsens. Som analysemetode blev der anvendt luminescens i forbindelse med enzymet luciferase (leverandør: Luminultra Kit DSA til swab på rørvægge og kit QGA til filtrerede vandprøver).

2.4.4 Molekylære mikrobiologiske metoder

Der blev anvendt molekylære mikrobiologiske metoder til analyse af 21 prøver i løbet af projektet. Generelt var der tre forskellige udgangspunkter for disse analyser: Skivefiltre (fra filtrering af vandprøver), swab (til belysning af biofilm på rørvægge) og dybdeudsæd (til belysning af bakterier, der vokser på en dybdeudsæds agarplade brugt til kimtalsanalyse). Hovedformålet med analysearbejdet var at identificere, hvilke bakterier dominerer i de forskellige situationer.

Alle prøver blev underkastet en DNA-ekstraktion, en qPCR analyse samt sekvensering. Arbejdet blev udført af firmaet DNA Sense, Aalborg. En analyserapport findes i Bilag 4.

TABEL 6 giver et overblik over de forskellige udtagne prøver.

TABEL 6. Oversigt over prøver udtaget til molekylær mikrobiologiske analyser.

Nummer	Prøveidentifikation	Dato	Rørmateriale	Prøvematrix	Tidspunkt	Prøvemetode
1	Bjørnkærvej	25-04-2017	PEK	Is/saltvand	Under pigging	Filtrering
2	Venusvej	26-04-2017	PVC	Is/saltvand	Under pigging	filtrering
3	Ringkøbingvej	27-04-2017	Støbejern	Saltvand	Under pigging	Filtrering
4	Lindevej	27-04-2017	Støbejern	Saltvand	Under pigging	Filtrering
5	Egsagervej	28-04-2017	PVC	Is/saltvand	Under pigging	Filtrering
6	Søbakkevej	28-04-2017	PVC	Is/saltvand	Under pigging	Filtrering
7	Testrig G1	03-04-2017	PVC	Rørvæg	Ved opgravning	Swab
8	Testrig G2	03-04-2017	PVC	Rørvæg	Ved opgravning	Swab
9	Testrig G3	03-04-2017	PVC	Rørvæg	Ved opgravning	Swab
10	Testrig G1	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Før pigging	Swab
11	Testrig G2	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Før pigging	Swab
12	Testrig G3	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Før pigging	Swab
13	Testrig PE50mm	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Før pigging	Swab
14	Testrig G1	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Efter pigging	Swab
15	Testrig G2	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Efter pigging	Swab
16	Testrig G3	25-04-2017	PVC	Rørvæg	Efter pigging	Swab
17	Testrig PE50mm	25-04-2017	PE	Rørvæg	Efter pigging	Swab
18	PE 50mm ud	07-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	22C Dybdeudsæd
19	PE 50mm ud	07-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	37C Dybdeudsæd
20	PE 50mm ud	10-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	37C Dybdeudsæd
21	PE 50mm ud	11-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	22C Dybdeudsæd
22	PE 50mm ud	12-04-2017	PE	Agarplade	Indkøring	37C Dybdeudsæd

For swab og skivefiltre blev DNA ekstraheret med PowerWater DNA Isolation Kit (MO BIO). DNA fra dybdeudsædspladerne blev ekstraheret ved først en frysetørring af agaren, hvorefter 1/3 af pladen blev tilsat Fast DNA Spin Kit for Soil (MP bio).

qPCR blev udført med broad range bakterielle primers og amplicon sekvensering blev udført med V3-4 16S rRNA primers.

Det bemærkes, at hyppighed er influeret af antal kopier, primer bias og DNA-ekstraktions bias og repræsenterer ikke nødvendigvis den sande in-situ hyppighed.

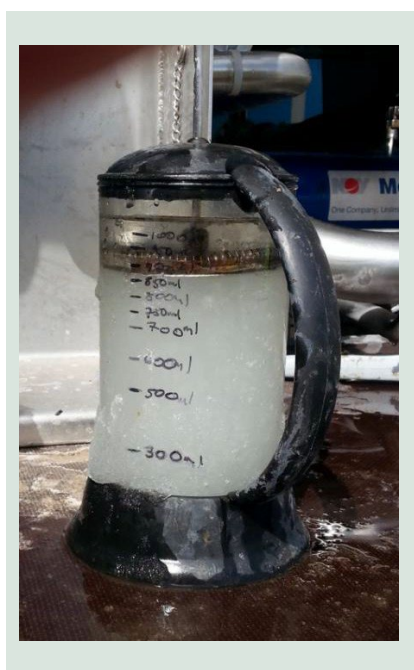
2.4.5 Metaller og NVOC

Metallerne jern, mangan, calcium, aluminium og arsen blev udført ved gængse analysemetoder (ICP-MS) af Eurofins. Desuden blev der målt TOC, VOC og NVOC ved forbrænding, ligeledes udført af Eurofins ifølge deres standard procedurer for kulstofbestemmelser.

2.4.6 Istykkelse

Isens tykkelse i forbindelse med Ice Pigging blev målt on-site af operatøren ved hjælp af en stempelkandemetoden. Her blev is/vand-blandingen hældt i en stempelkande og stemplet blev presset ned. Hermed blev is og vand adskilt, og forholdet mellem is og vand kunne aflæses.

Bemærk at den faktiske isprocent ikke måles ved denne metode, da der findes porevand i isen.



FIGUR 12. Måling af istykkelse ved stempelkandemetoden.

2.4.7 Partikelstørrelse

Prøverne til måling af partikelstørrelse blev udtaget ved prøvehanen på måleaggregatet fra operatøren. Der blev udtaget 1 liter så vidt muligt på ca. det tidspunkt, hvor sedimentindholdet var størst. Inden måling blev prøvernes saltindhold tilpasset til 0,9 %.

Der blev udtaget delprøver på 20 mL og der blev udført målinger i triplikat på 50 µL.

Måleudstyret var en Multisizer 4 Coulter Counter fra Beckman Coulter. Målingerne blev udført på Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet. Der blev anvendt en åbning på 0,2 – 60 µm. Til sammenligning angiver jordpartiklernes klassifikation at siltområdet ligger i intervallet 2 – 63 µm. Hermed måles der på korn, der medtager siltstørrelse og de største lerstørrelse, men mindre end finsand størrelse.

3. Fuldskala resultater

3.1 Tekniske data fra fuldskala demonstrationer

Under Ice Pigging processen blev der logget data dels til at følge med i rensemetodens afvikling og dels til at dokumentere procesparametrene fra lokalitet til lokalitet. I TABEL 7 er de tekniske data samlet. Enkelte datarapporter fra hver lokalitet er udarbejdet af operatøren, se Bilag 2.

TABEL 7. Oversigt over tekniske data fra fuldskalaforsøg.

Lokalitet	Anvendt is volumen	Vandforbrug m ³ /m ³	Tid	Flow	Grisens passage	Grisens længde	Kommentar
	m ³	X rør volumen	min.	m/s	min.	M	
Ullerupdalvej, Fredericia	2,0	6,3*	36	0,5	2,0	64	*Ekstra skylning
Bjørnkærvej, Vejle	1,0	3,8	56	0,1	7,0	50	
Venusvej, Fredericia	2,0	1,7	42	0,3	6,0	100	
Ringkøbingvej, Aarhus	1,1	2,2	58	0,4	5,5	140	delvis smeltning
Lindevej, Aarhus	0,9	-	55	-	-	-	Isen smeltede
Egsagervej, Aarhus	1,4	2,9	25	1,1	2,3	147	
Søbakkevej, Tilst	0,9	2,4	33	1,2	1,9	142	

TABEL 7 viser, at den anvendte tid til selve renseforsøget fra lukning af ventilerne til de sidste turbiditetsmålinger var 25-58 minutter. Selve is-grisen passerede et fast punkt på ledningen på 2-7 minutter. Drivkræften for isens bevægelse var det normale vandtryk i de pågældende strækninger. TABEL 7 viser at der blev opnået en bevægelse af isen på mellem 0,3 og 1,2 m/s. Ved Bjørnkærvej blev flowet sænket for at sikre tid til prøvetagningerne. Længden på rensegrisen under rensningen afhænger af ledningsnettes diameter og den anvendte mængde is.

Længden på is-grisen var mellem 50 og 147 meter. Da strækningen på Ullerupdalvej var så kort, var næsten hele strækning fyldt med is.

Den vandmængde, der er anvendt til demonstrationerne er generelt mellem 1,7 og 3,8 gange strækningernes rørvolumen. I strækningen på Ullerupdalvej blev der anvendt i alt 11,8 m³ (6,3x rør volumen vand), hvilket skyldes at der efter renseforsøget fortsat var forhøjet turbiditet, hvorfor der blev udført yderligere skylning i strækningen. Operatøren oplyser, at dette erfaringsmæssigt ses, når der opstrøms for renseområdet også er akkumulerede materialer, der trækkes med ind i operationsstrækningen.

På to demonstrationsstrækninger nåede isen delvis at smelte (Ringkøbingvej og Lindevej), disse strækninger var begge i støbejern. Desuden gav strækningen på Lindevej tekniske problemer, der antages at stamme fra en sammenkobling i ledningsnettet, der ikke var registreret.

3.2 Praktiske erfaringer

De syv ledningsstrækninger har givet en række praktiske erfaringer i forhold til både planlægning og udførelsen af Ice Pigging i det danske ledningsnet. Disse erfaringer har stor indflydelse på, om der vil vælges at anvende Ice Pigging fremover i Danmark.

3.2.1 Hurtighed og effektivitet

Ice Pigging er en hurtig og effektiv metode. Perioden med lukket vand var generelt 1½ timer eller mindre. Samtidig viser en visuel vurdering af isens farve ved udløbet, at store mængder materiale fjernes ved metoden.

3.2.2 Ventiler

Forud for pigging blev det vurderet, at ventilerne var tætte, men under udførelsen blev det vist, at selv små utætheder i ventilerne kunne påvirke processen. Der var udfordringer med ventiler på tre ud af syv strækninger. Heraf blev en ventil udskiftet (Venusvej).

Disse erfaringer medfører, at det må anbefales at lave en udvidet tryktest, hvor området isoleres og der lukkes vand af nettet. Så skal det lavere tryk måles i en kortere periode for at dokumentere at ventilerne er tætte. Det lavere tryk skal kunne fastholdes. Det bemærkes, at især gamle ventiler godt kan blive utætte bare af at blive betjent, så en succesfuld test kan godt resultere i at det alligevel er utæt. Kravet om helt tætte ventiler er nok et af de største problemer ved metoden.

3.2.3 Udskylning og indsætning af is

I et enkelt tilfælde var der problemer med at få isen ud af en mindre brandstander (C-stander). Her var vurderingen, at der formentlig har været en del af det løsnede materiale, som har blokeret for, at der kunne komme det ønskede flow ud. Læringen var, at der bør være fokus på, at der er tilstrækkelig mulighed for udskylning. Det tyder dog ikke på, at der er de samme problemstillinger med at få isen ind i ledningsnettet.

3.2.4 Entydig strømning

Ved en strækning (Lindevej) viste udskylningsforløbet, at der først kom is, derefter vand og så igen is. Dette havde formodentlig baggrund i, at der var fejl i ledningsregistreringen, sådan at der var en sammenkobling i ledningsnettet, som ikke var registreret. Dette ses desværre af og til på især de ældre vandledninger, som ikke nødvendigvis er registreret under anlægstidspunktet, men først er registreret langt senere.

3.2.5 Støbejernsledninger

Ledningsmaterialet og det opnåelige flowhastighed har betydning for, hvor store længder der kan pigges. Materialets store varmeledningsevne og isens transporttid i ledningen bevirkede på de to støbejernsledninger at isen smeltede, hvormed udløbet bestod af brakvand uden is. Dette resulterede formodentlig i at størstedelen af sedimentet ikke blev transporteret med ud.

Der var under udførelsen af Ice Pigging på en støbejernsledning (Ringkøbingvej) indikationer på at stikledningsdimensionen, som føder brandstanderen, var for lille, hvilket medførte et for højt tryktab. Brandstanderen, hvor vandet afledes fra, kan derved have haft en for lille dimension. Baggrunden for at brandstanderen var for lille forventes at være, at løst materiale blokerede for udstrømningen af vand/is formentlig i anbrøringen. På det pågældende sted var der 4 – 5 bars tryk til rådighed, men der blev målt langt lavere tryk, hvilket styrker tesen omkring snavs eller en eller anden form for blokering i nettet opstod efter rensningen. Stor dimension er nødvendig for at sikre mod tryktab og for at mindske risikoen for, at snavs kan blokere afledningen helt eller delvist. Et tryktab vil resultere i at vandhastigheden reduceres, hvormed isen kan nå at smelte og renseffekten vil blive lavere. Tryktabet øges også ved stor friktion i ledningen, hvorfor det forventede behov for vandtryk viste sig ikke at være tilstrækkeligt i alle

tilfælde. Ud over tilstrækkelig dimension ved udløb er løsningen, for at undgå smeltning ved støbejernsledninger, at anvende en større mængde is.

3.2.6 Kontaminering

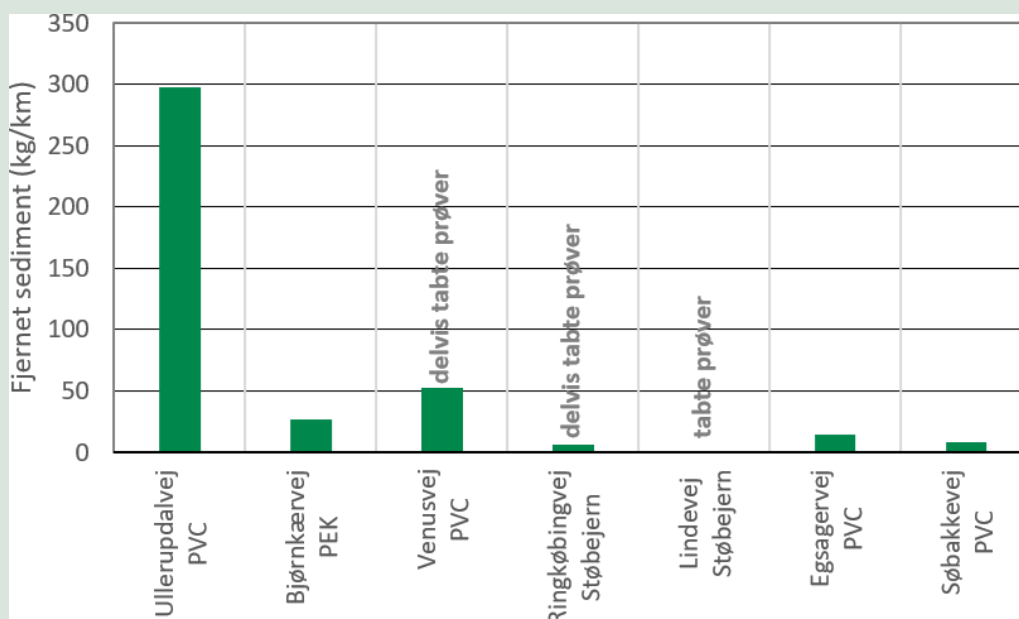
En anden udfordring ved metoden er risiko for kontaminering af drikkevandet. Der var ikke fokus på hygiejne og derved på risikoen for kontaminering fra operatørens side. Der blev anvendt brandslanger mellem isbilen og indløb til ledningsstrækningen samt fra udløb til målegris med prøvehane. Her ses to risici. Den ene er vækst af bakterier på indersiden af brandslangerne. Dog bliver slangerne pigget jævnlige, hvilket reducerer risikoen. Den anden er brandslangens ender, der blev slæbt langs jorden og ikke opbevaret hygiejnisk. Dette blev pointeret over for operatøren efter første pigging og justeret efterfølgende ved en afsprøjtning af koblinger og opbevaring af enderne i nye plastposer med tape.

3.2.7 Prøvetagning

Ice Pigging-demonstrationen har givet værdifulde erfaringer omkring planlægning og procedurer for udtagning af prøver. Det tidsinterval, hvori isen med det fjernede materiale løber ud af ledningsstrækningerne var blot 2-6 minutter (se TABEL 7). For at udtage et tilstrækkelig antal prøver (der er nødvendig for at udnytte den viden, som prøverne kan give om ledningsstrækningen), skal prøvetagning derfor foregå meget hurtig. Ved Ullerupdalvej (det første fuldskalaforsøg), gik det så hurtigt, at der ikke blev udtaget prøver til analyse af sammensætningen af det udrensede materiale. Derfor blev flow hastigheden reduceret i anden fuldskalaforsøg (Bjørnkærvej), hvorefter der gennem større erfaring og prøvetagningsprocedurer kunne udtages prøver til analyse ved det normale ledningsnets flow.

3.3 Fjernede sedimentmængder

Den fjernede sedimentmængde (normaliseret til strækningens længde) er vist i FIGUR 13. Detaljer omkring prøveudtagning og måling/beregning angives i hhv. afsnit 2.3.2 og 2.4.1. Alle resultater ses i Bilag 2.



FIGUR 13. Den fjernede sedimentmængde (normaliseret til strækningens længde).

FIGUR 13 viser fjernede sedimentmængder i et interval på omkring 3 – 300 kg/km, dvs. en forskel på en faktor 100. I følge operatøren er det ikke usædvanlig, at sedimentmængden varierer kraftig fra lokalitet til lokalitet. Figuren viser at hele eller dele af prøverne desværre gik tabt (under transport til Storbritannien) på tre af strækningerne.

Råvandsledninger kan have større sedimentmængder end distributionsledninger, da jernkoncentrationer i råvand er højere end i behandlet vand. Resultaterne viser dog at råvandsledningen (Bjørnkærvej) ikke havde den største sedimentmængde. Dette kan evt. forklares ved at råvandet i boringen forbliver anaerobt, så jern ikke oxideres, eller at ledningens flow i det daglige er tilstrækkeligt højt til at give en delvis selvrensende effekt.

Den største sedimentmængde blev fjernet på PVC-ledningen (Ullerupdalvej). Det faktum, at der her er tale om den største ledningsdiameter (Ø 200mm), kan være medvirkende til den store sedimentmængde på dette sted, men det forventes ikke at være hovedårsagen.

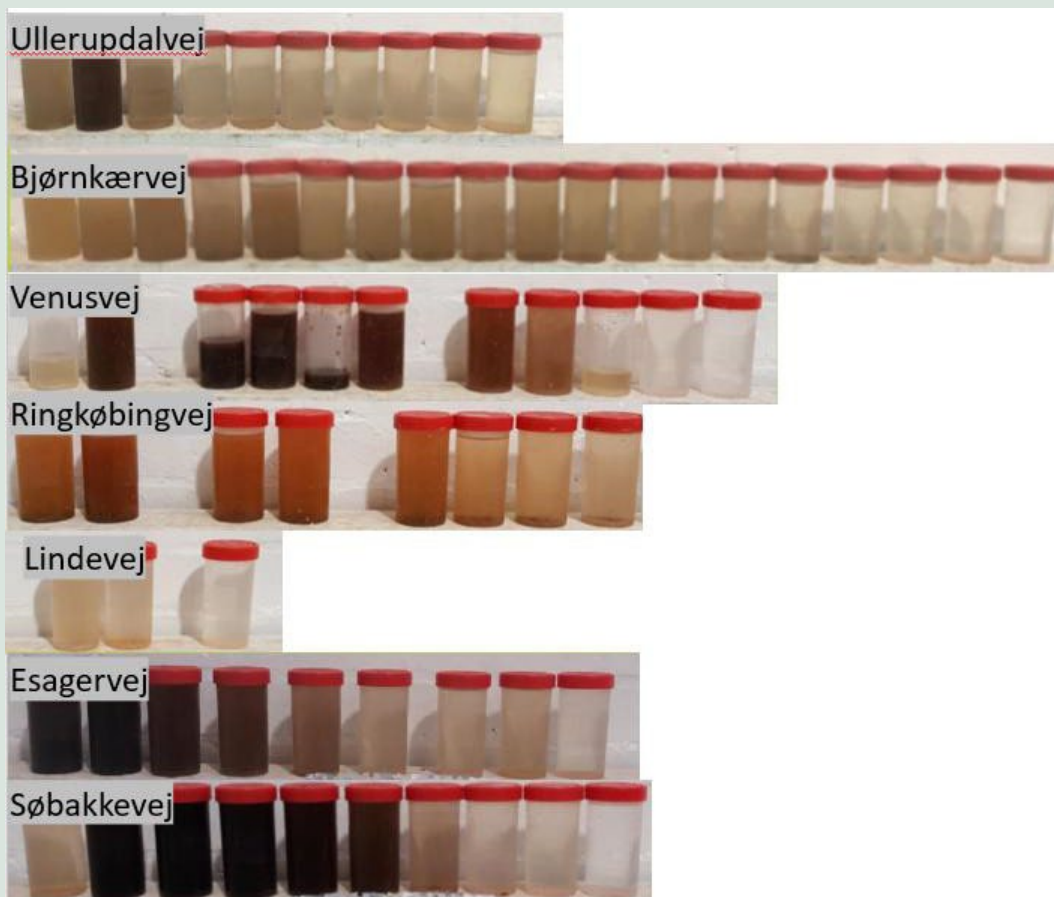
Støbejernsledninger kan også have særlige høje sedimentmængder som følge af korrosion (se FIGUR 14). Prøverne gik tabt for den ene støbejernsledning (Lindevej). For den anden støbejernsledning (Ringkøbingvej) kan den lave sedimentmængde skyldes, at isen nåede at smelte inden afledning, hvorfor store dele af sedimentet kan være tabt igen i ledningen eller at dele af prøverne blev tabt under transporten.



FIGUR 14. Støbejernsledning (Ringkøbingvej) før Ice Pigging.

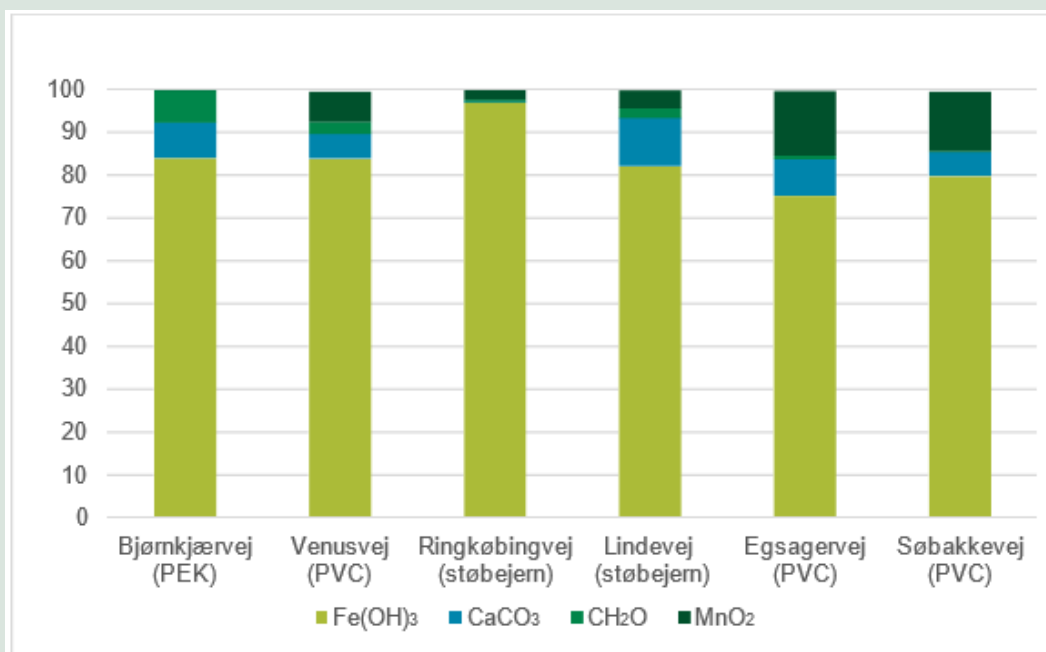
3.4 Sammensætning af oprenset materiale

FIGUR 15 viser udtagne is-/vandprøver fra forskellige lokaliteter. Figuren viser tydelige forskelle, både hvad angår gennemsigtighed og farvenuance. Umiddelbart antages det, at den røde farve (Ringkøbingvej og muligvis også Bjørnkærvej og Lindevej) skyldes stor overvægt af jernoxidforbindelser, mens den sorte farve (Søbakkevej, Esagervej, Venusvej og Ullerupdalvej) indikerer et væsentligt bidrag fra stærkfærvede manganoxidforbindelser.



FIGUR 15. Prøver af is og vand udtaget hvert 30 eller 60 s under Ice Pigging.

FIGUR 16 viser den relative sammensætning af det oprensede materiale på de seks lokaliteter, hvor der blev udtaget prøver. Sammensætningen blev beregnet på vægt basis ved at antage, at calcium er bundet som carbonat, mens de øvrige metaller er bundet som oxider. NVOC blev beregnet som naturligt organisk materiale repræsenteret ved formlen CH_2O . I figuren er sammensætningen vist som en procent af den totale tørvægt. Analysemetoder ses under afsnit 2.4.5 og analyserapporten fra Eurofins ses i Bilag 3.



FIGUR 16. Sammensætning af det oprensede materiale, beregnet på basis af tørvægt på baggrund af de analyserede grundstoffer omregnet til hhv. carbonat og oxider og kulstof fra NVOC som CH₂O.

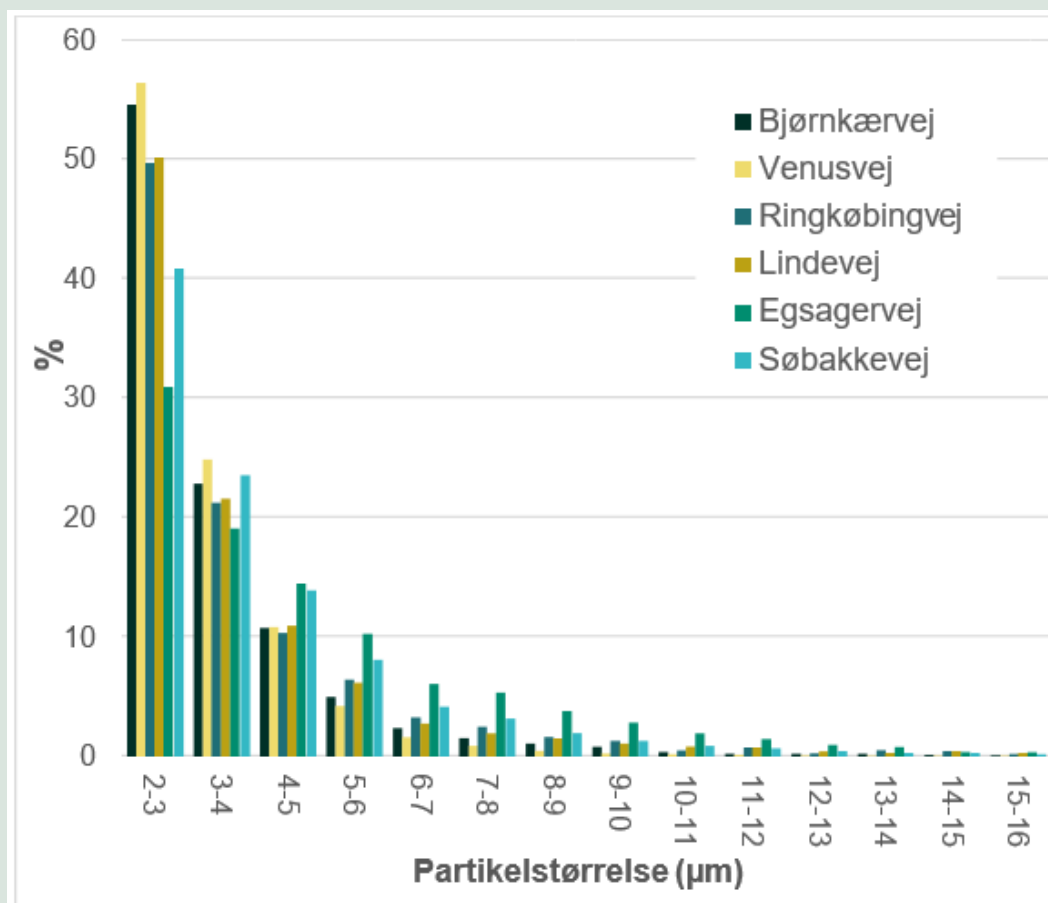
Som det ses af FIGUR 16 er jern det dominerende element i det akkumulerede materiale, der er fjernet fra vandrørene. Det er interessant at bemærke, at partikler fra råvandsledningen (Bjørnkjærvej) ikke indeholder mangan, formentlig fordi manganudfældning ikke sker under de lave redoxforhold, der findes i råvandsledningen.

Sammenlignes prøveeksemplerne i FIGUR 15 med sammensætningerne i FIGUR 16 herover, ses de mørkeste prøver at indeholde mangan, hvorimod Bjørnkjærvej og Ringkøbingvej, der primært indeholder jernoxider, er mere rødlig i farven.

Andelen af organisk materiale (NVOC) målt i de forskellige strækninger er størst i råvandsledningen (Bjørnkjærvej) med 7,7%. Herefter følger Venusvej og Lindevej med hhv. 2,9% og 2,4%. De øvrige strækninger viser en andel af organisk materiale under 1% af det akkumulerede materiale fjernet ved Ice Pigging.

3.5 Partikelstørrelser fra Coulter Counter

Partikelstørrelsen af det materiale, der blev fjernet ved Ice Pigging på de strækninger, hvor prøver blev udtaget ses i FIGUR 17. Prøverne er målt med en Coulter Counter, se afsnit 2.4.7.



FIGUR 17. Den relative kornstørrelsesfordeling (inddelt i 1 µm størrelseskategorier) af materiale fjernet ved Ice Pigging i fuldskala på 6 lokaliteter.

Instrumentets måleområde er i størrelsesintervallet 2-60 µm. Den absolutte partikelantal per milliliter varierede generelt fra ca. 106-107 og var højest ved Venusvej. Det bemærkes, at den absolutte partikelantal er mindre interessant, da det afhænger af det præcise tidspunkt for udtagning af prøven (i forhold til hvornår det mest beskidte is nåede udløbet) samt mængden af sediment i de anvendte ledningsstrækninger.

Den relative kornstørrelsesfordeling vist i FIGUR 17 viser, at langt hovedparten af partiklerne var

< 10 µm. Da grafens søjler stiger mod venstre (de mindste partikler), må man forvente at der findes mange partikler, der er < 2 µm, men som ikke kunne registreres ved det anvendte måleinstrument.

Det bemærkes, at hovedparten af de fundne kornstørrelser er i et størrelsesinterval, hvor en turbiditetsmetre har en god følsomhed (generelt giver turbiditetsmetre mindre udslag for store partikler).

Mellem 50 % og 80 % af det oprensede materiale registreret i kornstørrelsen mellem 2 og 4 µm. Hermed er partiklerne langt mindre end filtersand anvendt på vandværkerne, der normalt har en diameter, der er større end ca. 1.000 µm. Hermed er det ikke sandsynligt, at materialet i drikkevandsledninger stammer fra filtermediet i vandbehandlingsprocessen.

Materialerne fjernet fra Egsagervej (mørkegrøn farve) viser den groveste kornstørrelsesfordeling, hvor ca. 10 % af kornene er over 9 µm (9-20 µm). Venusvej viser den fineste kornstørrelsesfordeling, hvor ca. 90 % af kornene er under 4,7 µm.

3.6 Mikrobiologisk analyse af den rene is

For at kontrollere mikrobiologien i den rene is (før isen blev anvendt til fuldskalademonstrationerne) blev der på tre forskellige dage udtaget prøver fra isbilen, der producerer isen til renseforsøgene. Det bemærkes, at isbilen anvendte drikkevand fra Lystholt Vandværk til produktionen af isen. Resultaterne ses i TABEL 8.

TABEL 8. Standard bakterieanalyser af den rene is i prøver udtaget fra isbilen (dvs. inden isen blev brugt til pigging).

Lokalitet	Dato	Coliforme	<i>E. Coli</i>	Kim 22	Kim 37
		MPN/100ml	MPN/100ml	CFU/ml	CFU/ml
	grænseværdi	< 1	< 1	200	20
Ullerupdalvej		< 1	< 1	>3000	>3000
Lindevej		< 1	< 1	41	2
Søbakkevej #1		< 1	< 1	32	< 1
Søbakkevej #2		< 1	< 1	93	< 1

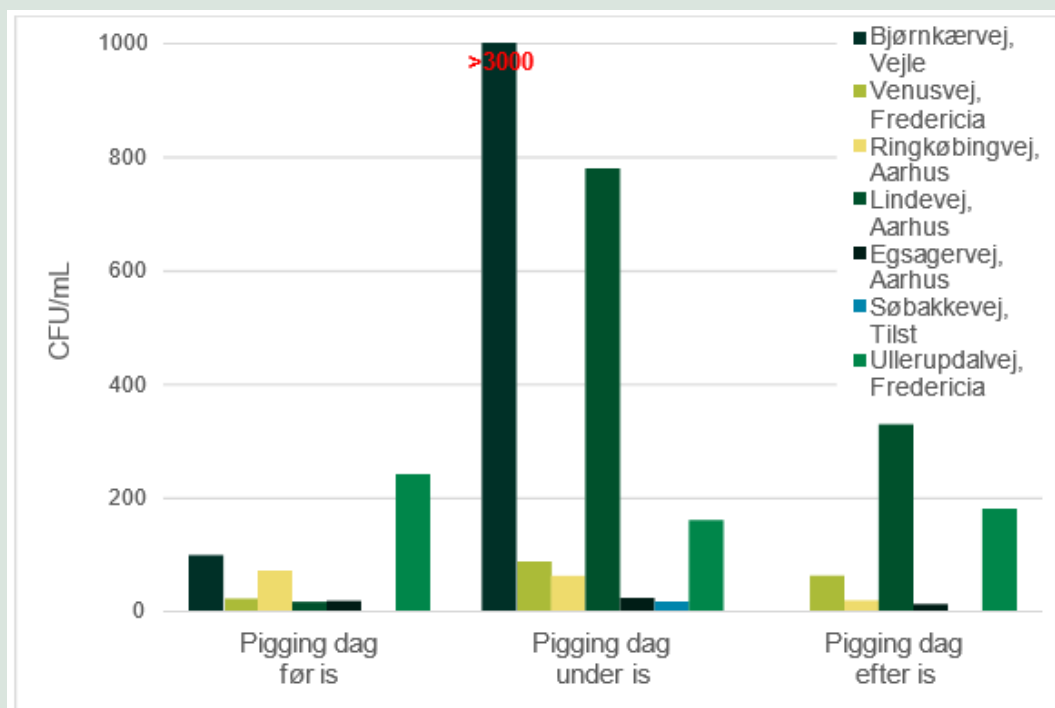
TABEL 8 viser at kimtallet for prøven udtaget på Ullerupdalvej var over analysemetodens måleinterval, både for kim 22 og kim 37. Selv om Ice Pigging altid afsluttes med en skylning, vil det naturligvis være bekymrende, hvis ledningerne bliver kontamineret med mikroorganismer fra isen. Prøven fra Ullerupdalvej var udtaget efter en lang tilslutningsslange (i stedet for direkte fra isbilen), hvorfor der er mistanke om, at prøven blev kontamineret fra denne slange eller på anden vis i forbindelse med prøvetagning.

De øvrige målinger blev udtaget direkte fra en hane på isbilens opbevaringstank, se FIGUR 10 (til venstre). Her viser tabellen at kimtalsresultaterne var lave, for både kim 22 og kim 37. Hermed er det sandsynliggjort, at der ikke er bakterielle problemer med istanken. De to prøver fra Søbakkevej er dobbeltprøver udtaget i umiddelbar forlængelse af hinanden, hvilket giver en indikation af variationen i kimtalsmålinger.

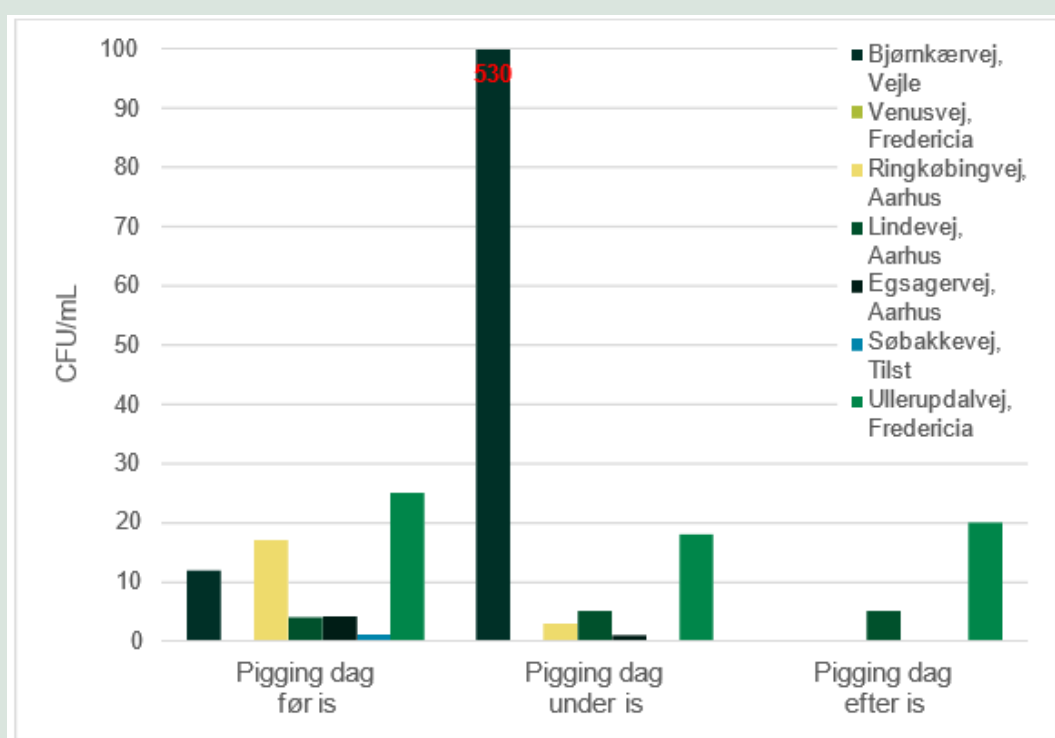
3.7 Mikrobiologisk analyser af drikkevandet

Der er udtaget vandprøver til mikrobiologiske analyser både i forbindelse med Ice Pigging samt i dagene efter. Alle resultater findes i Bilag 3.

FIGUR 18 og FIGUR 19 viser hhv. kim 22 og kim 37 resultater for vandprøver udtaget umiddelbart før, umiddelbart efter og under rensning i fuldskala. Der blev ikke fundet coliforme eller *E. coli* bakterier i nogen af vandprøverne, hvorfor der ikke angives grafer for disse.



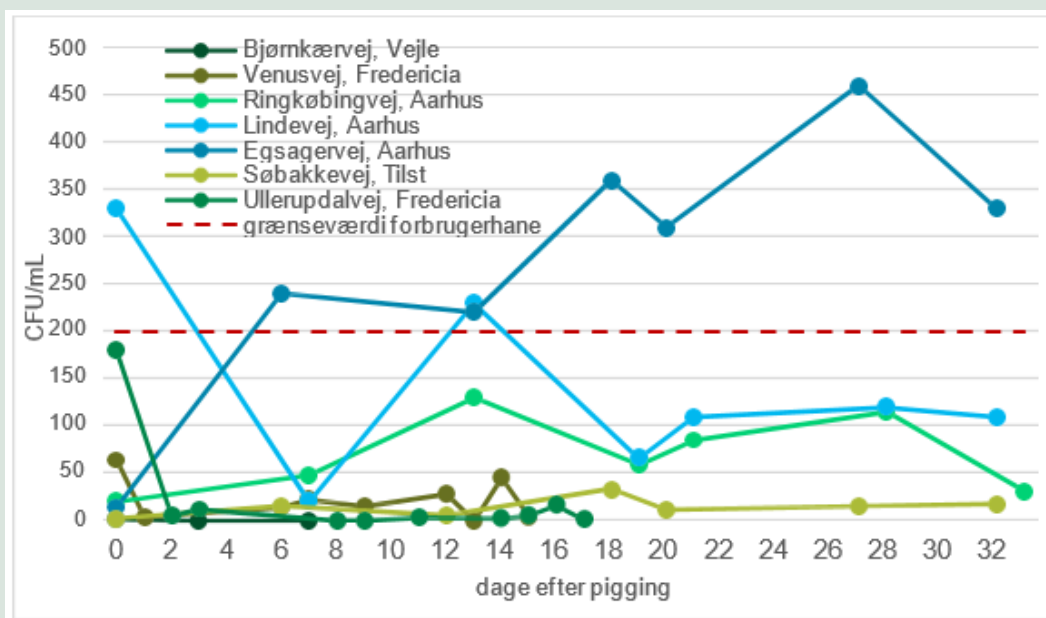
FIGUR 18. Kim 22 resultater for vandprøver fra hhv. før, under (dvs. prøve af den beskidte is) og efter Ice Pigging.



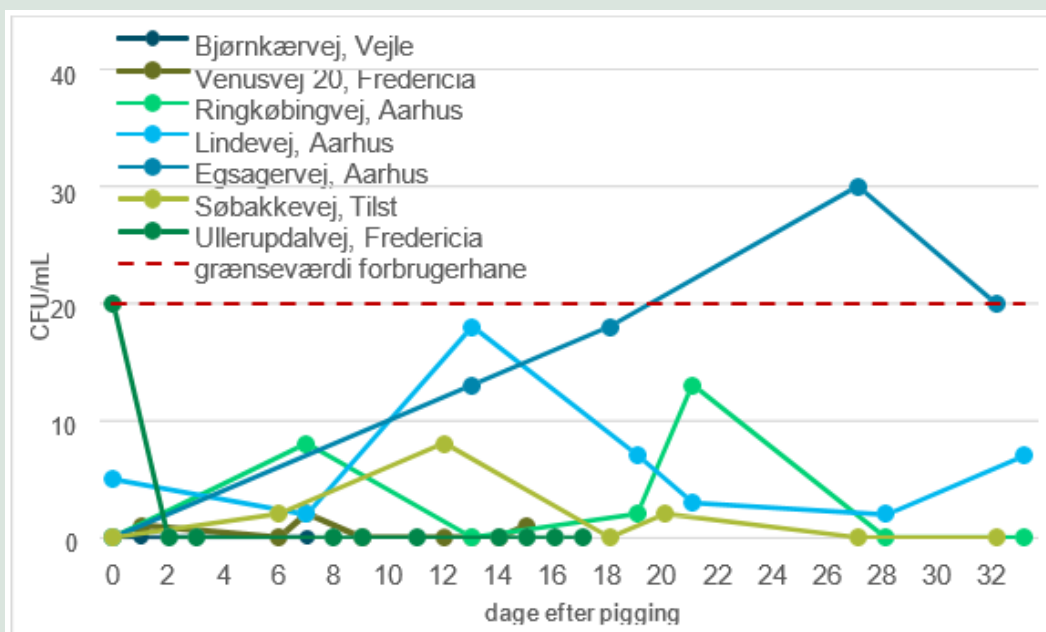
FIGUR 19. Kim 37 resultater for vandprøver fra hhv. før, under (dvs. prøve af den beskidte is) og efter Ice Pigging.

Bjørnkærvej og Lindevej viste høje kim 22 resultater under selve renseforsøget. Det vides ikke, om resultaterne er et udtryk for kontaminering (fx fra forbindelsesslanger eller under prøvetagning) eller om det fjernede materiale reelt indeholder mange kim. Generelt er kimtallet ikke væsentlig anderledes efter Ice Pigging end før.

FIGUR 20 og FIGUR 21 viser drikkevandsprøver udtaget løbende nedstrøms de oprensede strækninger i en kontrolperiode på 3-6 uger efter Ice Pigging.



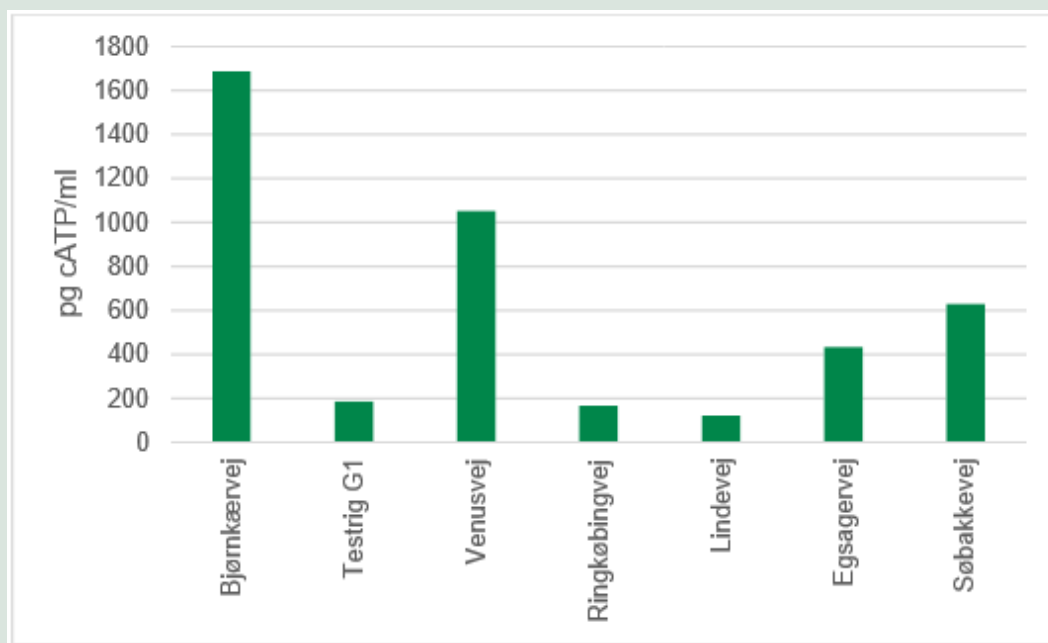
FIGUR 20. Udviklingen af kim 22 på forskellige strækninger registreret i ugerne efter Ice Pigging.



FIGUR 21. Udviklingen af kim 37 på forskellige strækninger registreret i ugerne efter Ice Pigging.

Som det ses, er resultaterne generelt lave (< 100 CFU for kim 22 og < 20 CFU for kim 37 allerede fra først prøve efter Ice Pigging). Esagervej viser dog et andet forløb med en stigning i både kim 22 og kim 37 således at grænseværdierne overskrides. Årsagen til denne stigning på Esagervej kendes ikke med sikkerhed, men det blev konstateret, at der var meget lavt flow i perioden efter Ice Pigging. De lange opholdstider i rørene kunne have forlænget perioden med høje kimtal. Årsagen til det lave flow var bl.a. at ringforbindelse ikke blev lukket op umiddelbart efter pigging, for at sikre at der ville være styr på hvor en evt. kontaminering vil udbrede sig. Det bemærkes, at senere målinger viste at kimtallet faldt yderligere til normale niveauer de kommende uger efter en skylning i nogle dage med 1 – 2 m³/t, hvorefter ledningsnettet blev frigivet til normal drift.

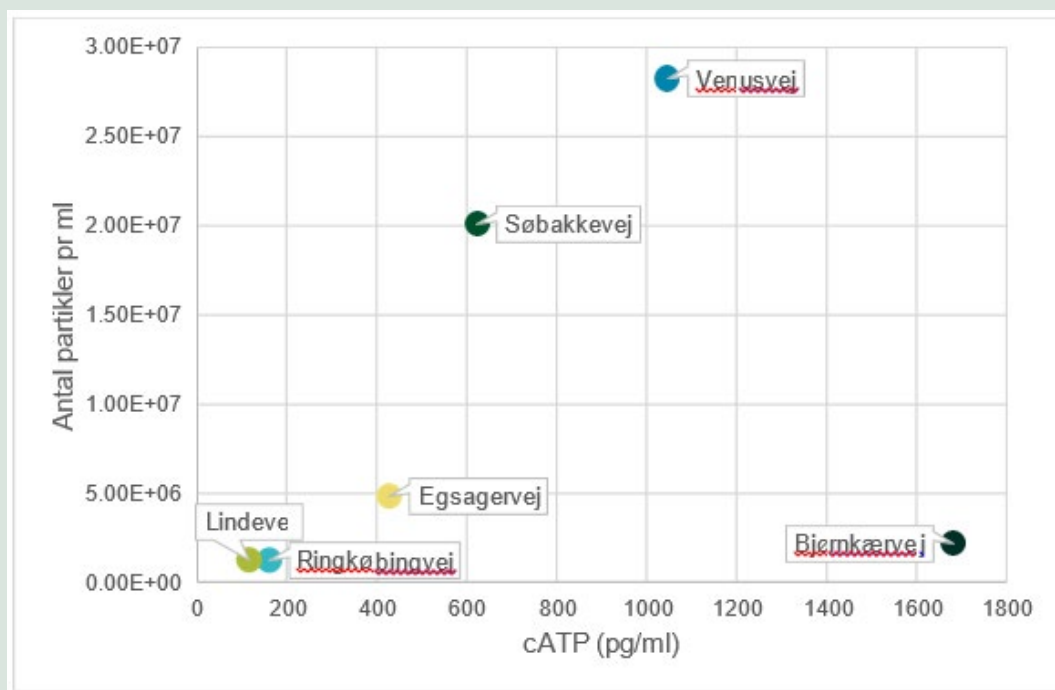
Den mikrobiologiske aktivitet i det fjernede materiale blev testet ved at lave ATP-analyser på prøver af isen, udtaget på det tidspunkt for mængden i isen var omkring det højeste. Analysemetoden er beskrevet i afsnit 2.4.3 og resultaterne ses i FIGUR 22.



FIGUR 22. cATP resultater fra isprøverne i forbindelse med fuldskalaforsøgene.

Resultaterne viser den største mikrobiologiske aktivitet i råvandsledning (Bjørnkærvej) og den laveste aktivitet i støbejernsledninger (Lindevej og Ringkøbingvej). Dog er sammenligninger af mindre værdi, da resultaterne er normeret til mL prøve. Hermed er resultaterne afhængig af det præcise tidspunkt for prøvetagning i forhold til, hvornår isen var mest beskidt. Alternativt kunne resultaterne normaliseres til mængden af materiale i rørene (se FIGUR 13) eller antal partikler (se FIGUR 17). Det bemærkes, at disse målinger er ikke udført på samme prøveflasker, men i prøver udtaget efter hinanden.

Sammenlignes det talte antal partikler i isprøverne fra de rensede distributionsledninger med ATP-resultaterne (FIGUR 23), ses der i det givne datasæt en lineær relation mellem antal af partikler og ATP-resultaterne for de oprensede strækninger med undtagelse af Bjørnkærvej.



FIGUR 23. cATP vs det absolutte antal partikler per mL. Bjørnkærvej er en råvandsledning, hvor de andre lokaliteter er forsyningsledninger.

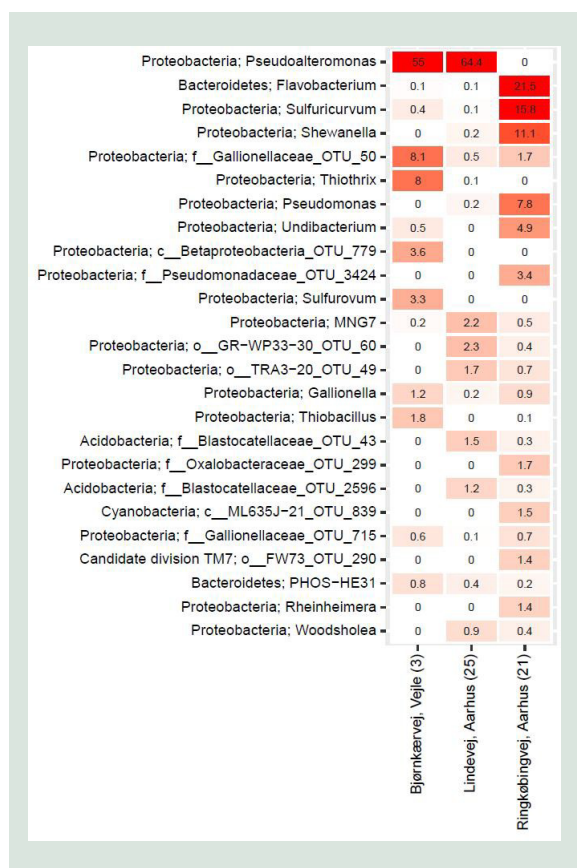
3.8 Molekylær mikrobiologiske metoder

Resultaterne fra de molekylære mikrobiologiske metoder på seks prøver af is (eller saltvand, hvor isen havde smeltet inden udløb) ses i TABEL 9 og FIGUR 24 nedenfor. Alle resultater ses i analyserapporten fra firmaet DNA Sense, se Bilag 4.

TABEL 9. Oversigt over qPCR-resultater og den ekstraherede mængde DNA fra vand/is-prøver udtaget fra ledningsstrækningernes afgang under Ice Pigging i fuldskala (DG=detektionsgrænse).

Prøve-identifikation	qPCR kopier/ μ L	DNA Ekstraktion ng/ μ L
Bjørnkærvej	7.6E+07	135
Venusvej	<DG	4
Ringkøbingvej	2,6E+06	17
Lindevej	7,0E+06	63
Egsagervej	<DG	4
Søbakkevej	<DG	<2

Som det ses af tabellen, var der generelt høje qPCR værdier i prøver med en vellykket DNA-ekstraktion. Til gengæld var resultaterne for qPCR under detektionsgrænsen på tre lokaliteter (alle plastrør), hvor DNA udbyttet var lavt og muligvis også af lav renhed.

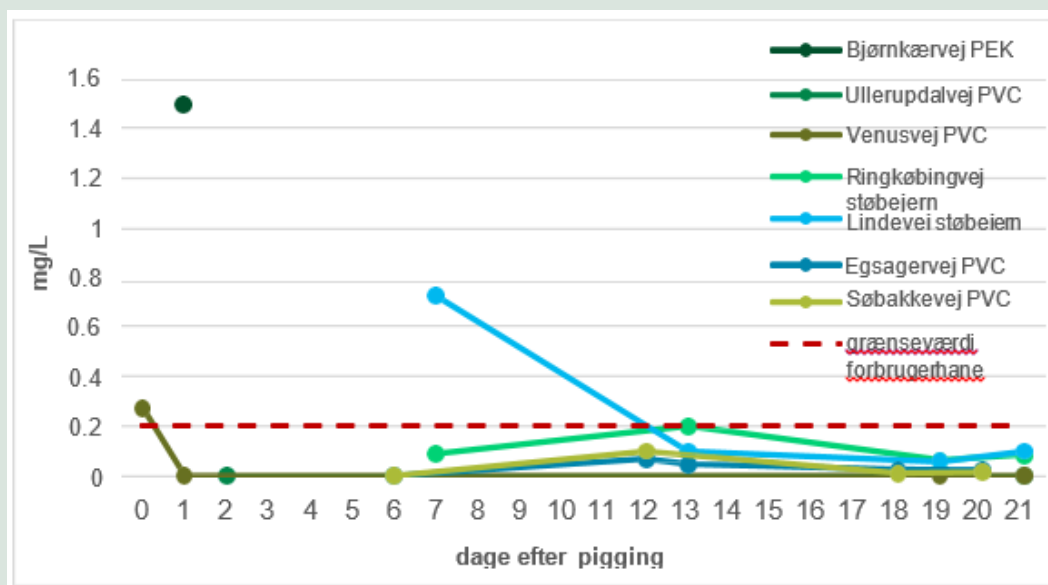


FIGUR 24. De 25 mest hyppige slægter i is-/vand-prøver udtaget under pigging.

FIGUR 24 viser at *Pseudoalteromonas* dominerende i to lokaliteter (fra hhv. råvandsledning og støbejernsledning), mens *Flavobacterium* og *Sulfuricurvum* dominerende på en anden lokalitet (også støbejernsledning). Hermed var samme slægter ikke dominerende i samme rørmateriale.

3.9 Udviklingen af jernindholdet

FIGUR 25 viser udviklingen i drikkevandets indhold af jern i forskellige strækninger i dagene efter oprensning med Ice Pigging.



FIGUR 25. Jern i vandprøver i ugerne efter Ice Pigging på de forskellige fuldskalademonstrationsstrækninger.

Som det ses af figuren var der kun en enkelt værdi (støbejernsledningen på Lindevej) over 0,2 mg/L i efterforløbet. Undtagelsen for dette er råvandsledningen på Bjørnkærvej, der naturligvis har grundvandets jernindhold. Operatøren har tidligere oplevet forhøjet jernkoncentrationer i støbejernsledninger, især hvis der anvendes for tykt en is/vand blanding. Det ene forhøjede resultat vurderes at være for lidt til at afgøre, om jernindhold i efterforløbet kan være problematisk.

4. Testrig resultater

4.1 Tekniske data fra testrig Ice Pigging

Pilotskalademonstration af Ice Pigging blev udført på en testrig med fire ledningsstrækninger (se afsnit 2.2) opført ved Lysholt Vandværk. Her blev den mikrobiologiske vandkvalitet fulgt både i indkøringsperioden før Ice Pigging samt i en fire ugers periode efter gennemførelse af Ice Pigging. Der blev ikke udtaget isprøver til bestemmelse af den fjernede sedimentmængde eller sammensætning, da de piggede rørlængder var så korte.

De tekniske data fra pilotskalademonstrationen ses i TABEL 10. Ved gennemførelse af selve Ice Pigging blev isen indført i en brandslange foran testriggen (i modsætning til fuldskalafor-søg, hvor isen blev indført i selve ledningen, der skulle renses). Herefter blev isen skubbet gennem strækningen ved distributionsnettets almindeligt vandtryk, netop som i fuldskala. De fire strækninger blev behandlet separat.

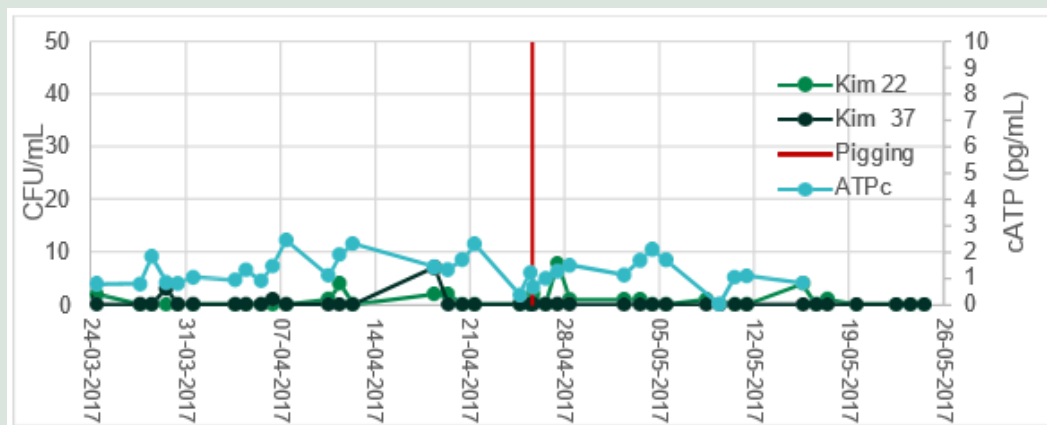
TABEL 10. Oversigt over tekniske data fra pilotskalademonstrationen.

Rør	Dato	Is tykkelse	Anvendt Is volumen	Tid	Flow	Grisens længde	Grisens længde
		%	m ³	Min.	m/s	m	Min.
G1	25/4-17	85	0,177	6	0,2	18,6	1:20
G2	25/4-17	80	0,166	6	0,5	17,5	0:38
G3	25/4-17	75	0,187	9	0,3	19,7	1:15
PE-Rulle	25/4-17	80	0,153	7	1,0	78	1:16

Det bemærkes, at voluminet af is til hver strækning var < 0,2 m³ og dermed væsentlig mindre end ved fuldskalafor-søgene. Det bemærkes endvidere, at der blev anvendt tre forskellige istykkelser på de tre ens opgravede rør G1, G2, og G3.

4.2 Indløbets mikrobiologiske vandkvalitet

På testriggen blev den mikrobiologiske aktivitet fulgt både i indkøringsperioden samt i en fire ugers periode efter gennemførelse af Ice Pigging. FIGUR 26 viser resultaterne fra vandprøver udtaget fra fællesindløbet til testriggen. Der blev målt for kim 22, kim 37 og ATP i hele dataindsamlingsperioden. Tidspunktet for Ice Pigging-aktiviteten er markeret med en rød linje for at lette sammenligningen med andre grafer.



FIGUR 26. Udvikling af den mikrobiologiske kvalitet i vandprøver udtaget fra fællesindløbet til pilot-skala testrig på Lysholt Vandværk.

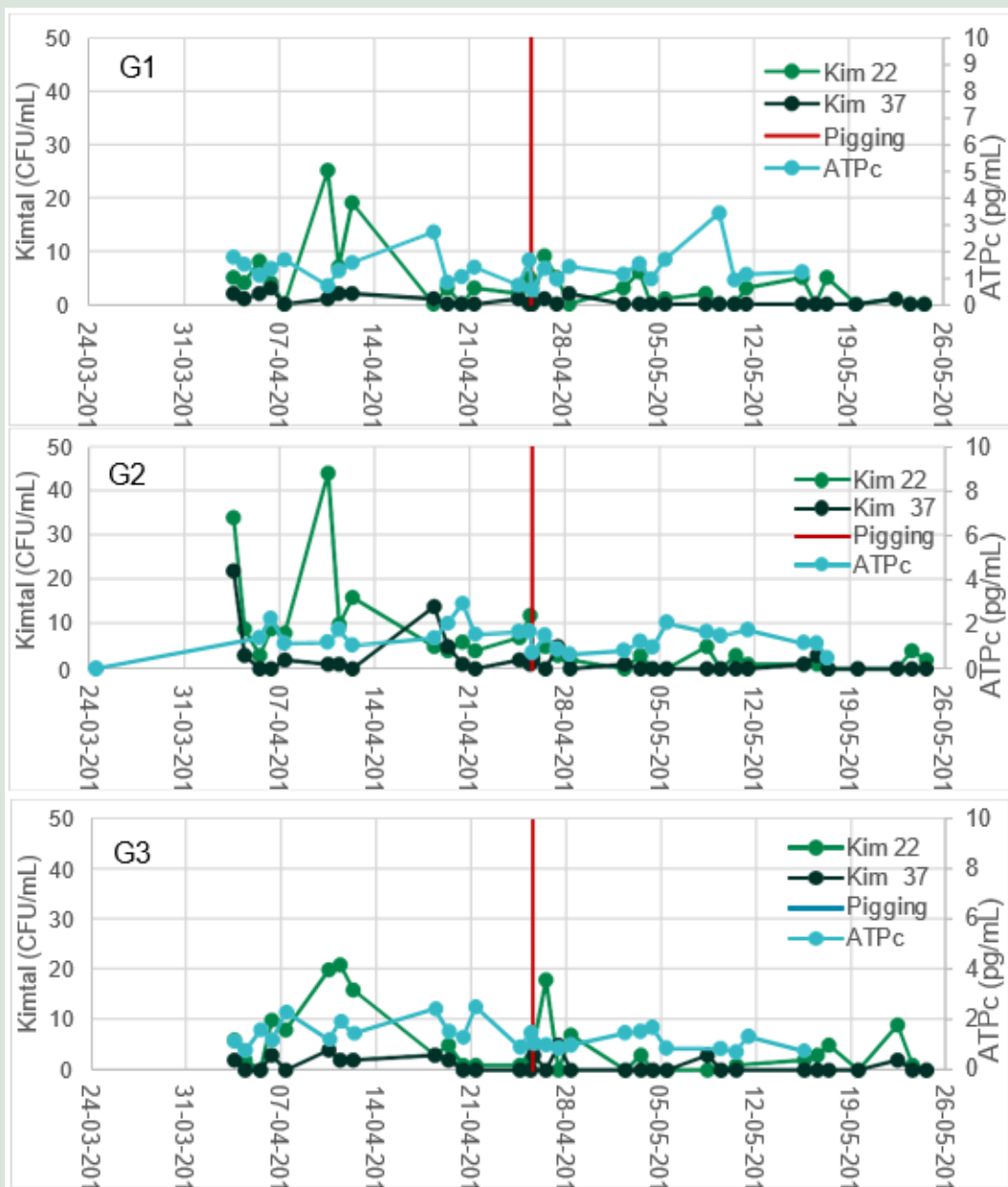
FIGUR 26 viser kimtallet <4 CFU/mL og cATP $< 2,5$ pg/mL gennem hele testperioden. Hermed er det fastlagt, at den mikrobiologiske vandkvalitet ved indløbet til testriggen var særdeles god og stabil.

4.3 De opgravede rør

Opstillingen af testriggen på Lysholt Vandværk inkluderede en opgravede PEM rør opdelt i tre ens længder på 3 m hver (se afsnit 2.2). Den mikrobiologiske aktivitet blev fulgt både i indkø-ringsperioden samt i en fire ugers periode efter gennemførsel af Ice Pigging.

4.3.1 Kimtal og ATP i udløbet

FIGUR 27 viser resultaterne fra vandprøver udtaget fra udløbet fra de tre opgravede rør. Der blev målt for kim 22, kim 37 og ATP-analyserne i hele dataindsamlingsperioden. Tidspunktet for Ice Pigging-aktiviteten er markeret med en rød linje for at lette sammenligningen med andre grafer.

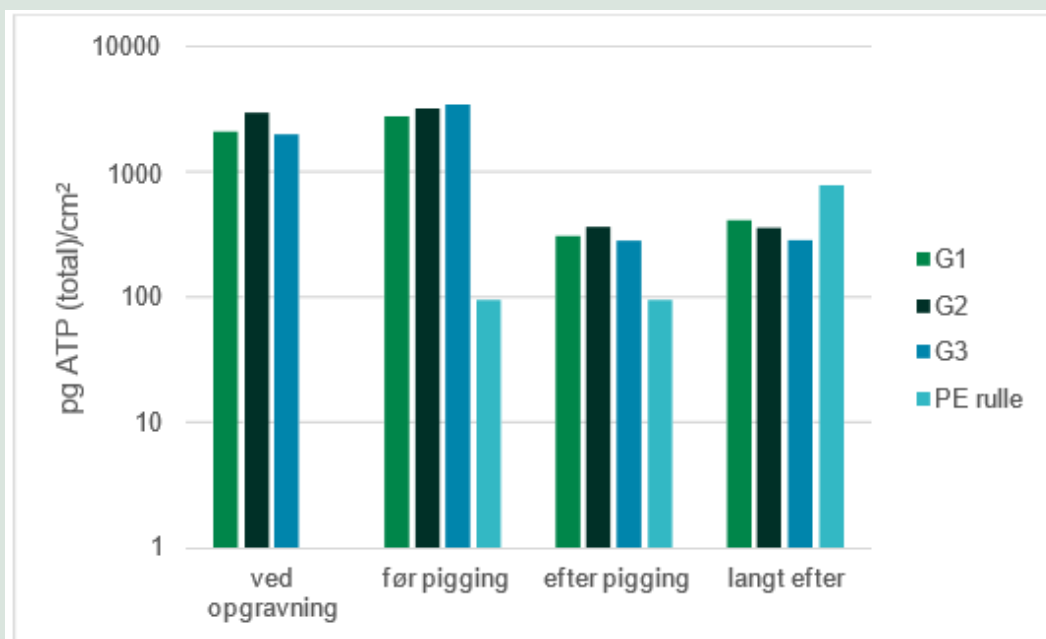


FIGUR 27. Oversigt over vandkvaliteten ved udløbet af de opgravede rør.

Figuren viser generelt værdier efter Ice Pigging, der minder meget om testtriggens indløb. Hermed understøtter resultaterne, at Ice Pigging ikke medfører en stigning af bakterier i vandfasen. Dog skal det bemærkes, at der er tale om meget korte strækninger. I perioden før Ice Pigging ses et mere uroligt billede, dog er der stadig tale om lave værdier. Det urolige mønster kan skyldes ændringer i rørets forhold (fx temperatur) ved flytning fra feltet eller påvirkning fra opgravnings- og transportprocessen.

4.3.2 ATP i biofilm

Biofilm på de opgravede rør blev undersøgt ved swab i 30 cm afskårne rørstykker fire gange i forløbet, se afsnit 2.3.3. ATP-resultater for disse swab-prøver ses i FIGUR 28. Bemærk at disse figurer også inkluderer resultater for swab-prøver fra den nye PE-rulle. Disse resultater omtales i afsnit 4.4.2.



FIGUR 28. Resultaterne fra ATP-swab af rørvægge, testrig.

Figuren viser, at der ikke er sket væsentlige ændringer i ATP-niveauet i de tre opgravede rør i de tre ugers indkøringsperiode mellem opgravningstidspunktet ("ved opgravning") og Ice Pigging tidspunktet ("før pigging"). I begge tilfælde var resultaterne i intervallet 2.000-3.500 pg ATP/cm². Til gengæld ses en væsentlig reduktion af ATP-niveauet fra før pigging til efter pigging. Her er reduktionen ca. en faktor 10. Der blev ligeledes udtaget en swab-prøve ca. 1 måned efter Ice Pigging. Her viser resultaterne at ATP-niveauet i de opgravede rør fortsat er reduceret med en faktor 10 i forhold til udgangspunktet.

Der blev anvendt tre forskellige istykkelser til de tre ens rør. Der kan på trods af Ice Pigging forsøgene med at ændre på is tykkelsen og dermed isens fysiske påvirkning af rørsiderne ikke registreres nogen væsentlige ændringer i ATP i de tre rørstykker.

Den observerede faktor-10 reduktionen af ATP-niveauet efter Ice Pigging kan skyldes både fjernelse af løse sedimenter i rørenes bund (der formodes at være aktiv biofilm på de små partikler af sediment) og afskrabning af biofilm på rørenes vægge. Men den tilbageværende aktivitet var i alle tilfælde stadig omkring 300 pg/cm². Hvis der antages at være 2×10^{-18} mol ATP/bakteriecelle (svarende til 10^{-3} pg ATP/celle), vil den tilbageværende ATP-aktivitet efter Ice Pigging svare til 300.000 celler/cm². Hermed er der ikke tale om at en ny biofilm skal udvikles forfra som den skal i et nyt rørledning.

Der blev i forbindelse med Ice Pigging udtaget prøver af isen med det udrensede materiale fra de fire testrør. Resultaterne for de tre opgravede rør var under 200 pg ATP/mL, dvs. væsentlig over niveauet for indløbsvandet på ca. 3 pg/mL. Da der blev anvendt en lang brandslange til indføring af isen, formodes det, at ATP-niveauet lige så godt kan være udtryk for kontaminering i brandslangen som udtryk for aktivitet i de oprensede 3 m sektioner af vandledning. På grund af denne usikkerhed er resultaterne ikke vist grafisk.

4.3.3 Molekylære mikrobiologiske metoder

Resultaterne fra de molekylære mikrobiologiske metoder på ni swab-prøver ses i TABEL 11 og FIGUR 29 nedenfor. Alle resultater ses i analyserapporten fra firmaet DNA Sense, se Bilag 4.

TABEL 11. Oversigt over qPCR-resultater og den ekstraherede mængde DNA for swab-prøver fra de tre opgravede rør, testriggen.

Prøveidentifikation	Dato	Tidspunkt	qPCR kopier/ μ L	Ekstraktion ng/ μ L
Testrig G1	03-04-2017	Ved opgravning	1,1E+06	12
Testrig G2	03-04-2017	Ved opgravning	1,3E+06	15
Testrig G3	03-04-2017	Ved opgravning	1,6E+06	27
Testrig G1	25-04-2017	Før pigging	4,5E+06	26
Testrig G2	25-04-2017	Før pigging	4,7E+06	42
Testrig G3	25-04-2017	Før pigging	4,0E+06	29
Testrig G1	25-04-2017	Efter pigging	1,8E+05	<2
Testrig G2	25-04-2017	Efter pigging	2,4E+05	<2
Testrig G3	25-04-2017	Efter pigging	3,2E+05	<2

Som det ses af tabellen er qPCR-værdier i samme størrelsesorden ved opgravning som før Ice Pigging. Til gengæld ses et stort fald i qPCR værdier efter pigging. Som det ses af tabellen var udbyttet fra DNA ekstraktionen i swab-prøver udtaget efter Ice Pigging lavt.

Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_11	17.7	23.8	27.7	18.6	12.5	44.3	16.3	42.4
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_227	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Proteobacteria; c__Proteobacteria_OTU_22	36.6	17.4	7.5	23.1	19	5.2	12.3	6.7
Proteobacteria; c__Gammaproteobacteria_OTU_44	33.3	21.8	8.7	28.7	16.1	5.2	15.6	13.1
Actinobacteria; f__TM146_OTU_3343	6	2.4	2.8	6.4	3.7	3	2.4	2.2
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_2089	1	1.3	7.7	2.7	2	6.8	2.7	3.1
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_8	0.8	1	4.7	1.9	1.3	4.9	1.5	1.8
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4302	0	0	0	0	0	0	0	0
Proteobacteria; f__WD260_OTU_42	0.2	1.4	1.4	0.3	2.7	1.7	2.8	1.4
Proteobacteria; spb280	0	0	0	0	0	0	0	0
Proteobacteria; Hyphomicrobium	1	1.5	0.9	0.8	1.4	1.1	1	1.5
Proteobacteria; MNG7	0.5	1.6	0.9	0.3	1.4	1	1	1.5
Acidobacteria; f__Blastocatellaceae_OTU_43	0.7	1.6	0.3	0.9	1.4	0.5	1.3	0.7
Proteobacteria; Woodsholea	0.3	0.7	0.8	0.6	1.4	1	1.2	0.7
Actinobacteria; f__TM146_OTU_14	1.3	0.5	0.5	1.2	0.6	0.6	0.5	0.4
Proteobacteria; Pedomicrobium	0.6	0.8	0.5	0.5	1.1	0.6	0.6	0.6
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_309	0.5	0.3	1.4	0.2	0.1	0.8	0.3	1.4
Proteobacteria; Perlucidibaca	0	0.1	0	0.3	0.3	0	3.4	0
Proteobacteria; Candidatus Entothionella	0	0.3	0.4	0.1	1	0.5	1.1	0.2
Proteobacteria; f__WD260_OTU_55	0.2	0.5	0.3	0.1	0.9	0.4	0.6	0.6
Acidobacteria; o__Subgroup 6_OTU_108	0.1	0.4	0.2	0.2	0.9	0.5	0.9	0.4
k__Bacteria_OTU_254; k__Bacteria_OTU_254	0	0	0	0	0	0	0	0
Proteobacteria; o__Nitrosomonadales_OTU_54	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.2	0.8	0.2
Candidate division OD1; c__Candidate division OD1_OTU_409	0.1	0.4	0.9	0	0.3	0.6	0.4	0.5
	Lysholt Testrig G1 (1) Efter	Lysholt Testrig G1 (1) Før	Lysholt Testrig G1 (1) Opg	Lysholt Testrig G2 (2) Efter	Lysholt Testrig G2 (2) Før	Lysholt Testrig G2 (2) Opg	Lysholt Testrig G3 (3) Før	Lysholt Testrig G3 (3) Opg

FIGUR 29. De 25 mest hyppige slægter i swabprøver.

FIGUR 29 viser at Candidate, Proteobacteria og Gammaproteobacteria dominerende i alle tre rør, både ved opgravning, før pigging og efter pigging. Hermed er der ikke tegn på at Ice Pigging har indflydelse på biofilmens sammensætning.

4.3.4 Rørenes fysiske tilstand

Som kontrol på rørenes fysiske tilstand blev prøver af det opgravede rør fra testrig undersøgt før og efter Ice Pigging, se FIGUR 30. Der blev udført test for:

- Termisk stabilitet (OIT)
- Smelteindeks
- Densitet
- Trykprøvning
- Godstykkelser
- Desuden blev rørende visuelt vurderet.



FIGUR 30. PEM rør til testrig ved opgravning (venstre) og efter Ice Pigging (højre).

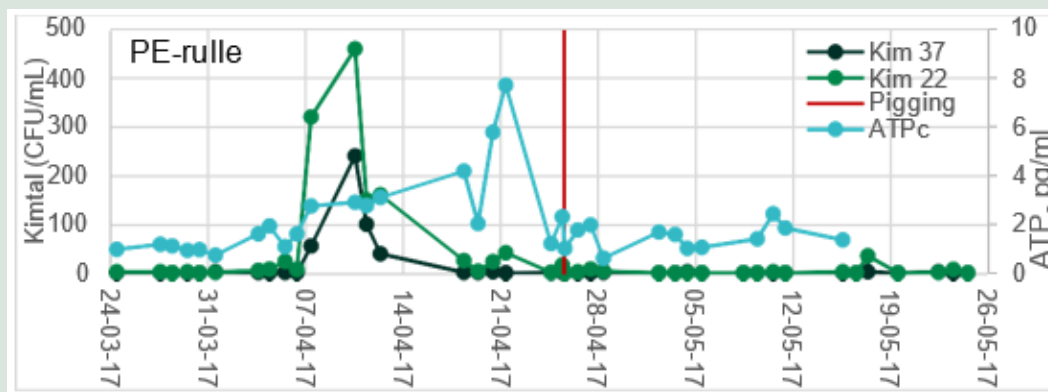
Resultater ses i Bilag 7. Begge rør blev godkendt af tests. Hermed er røret stadig i god stand til trods for alderen. Der var ingen synlige skader indvendigt i rørene, hvormed der ikke er indikation på skader forårsaget af isen.

4.4 Den nye PE-rulle

Opstillingen af testriggen på Lysholt Vandværk inkluderede en ny 100 m lang rulle af Ø50 mm PE (se afsnit 2.2). Den mikrobiologiske aktivitet blev fulgt både i indkøringsperioden samt i en fire ugers periode efter gennemførelse af Ice Pigging.

4.4.1 Kimtal og ATP i udløbet

FIGUR 31 viser resultaterne fra vandprøver udtaget fra udløbet fra den nye PE-rulle. Der blev målt for kim 22, kim 37 og ATP-analyserne i hele dataindsamlingsperioden. Tidspunktet for Ice Pigging-aktiviteten er markeret med en rød linje for at lette sammenligningen med andre grafer.



FIGUR 31. Udvikling af den mikrobiologiske kvalitet i vandprøver udtaget fra udløbet af den nye PE-rulle på testriggen på Lysholt Vandværk.

I figuren udviser kim 22 og kim 37 en stor top 2-3 uger efter opstart af indkøring. Kimtallene falder igen til baggrundsniveau inden Ice Pigging blev gennemført. Det samme mønster er set i felten i forbindelse med lægning af nye rørsektioner. Det understreges, at toppen ikke er udtryk for bakterievækst i vandfasen (eftervækst), da transporttiden gennem røret i testriggen er alt for kort til celledeling. En mulig forklaring på toppen er, at bakterier vokser på rørvæggene bl.a. som følge af frigivelse af alkylphenoler fra plastmaterialet. I starten af biofilmformation er

tilhæftning af disse bakterier dog ikke irreversibel, hvorfor mange bakterier afrives til vandfasen og giver den observerede afrivningstop. Efterhånden bliver biofilmen moden, tilhæftningen bliver stærkere og afrivning til vandfasen mindskes.

Efter Ice Pigging ses der ingen stigning i kimtal. Dette kan indikere, at biofilmen er ikke helt fjernet af Ice Pigging, hvorfor der ikke er behov for etablering af en ny tilhæftning til rørvæggene.

Figuren viser endvidere, at ATP-niveauet (lyseblå kurve) i vandprøver udtaget fra udløbet af den nye rør stiger efter ca. 4 ugers indkøring, dvs. toppen kommer ca. 10 dage efter kimtalstoppen. Det vides ikke om disse to toppe er relateret, da ATP er udtryk for hele den mikrobiologiske aktivitet mens kim 22 er udtryk for en lille andel af denne aktivitet, nemlig mikroorganismer, der kan dyrkes på agarplader under de givne forhold. Det understreges, at ATP-toppen indikerer afrivning af biofilmen, da opholdstiden er for kort til vækst i vandfasen under transport gennem røret.

Efter Ice Pigging udviste ATP-niveauet ingen stigning, men forblev på niveau med indløbsvandet.

4.4.2 ATP i biofilm

FIGUR 28 viser resultater fra ATP-swab af rørvægge, både for de opgravede rør og for den nye PE-rulle. Figuren viser, at ATP-niveauet var mindre end i de opgravede rør, men blev ikke reduceret under Ice Pigging. Den nye PE-rulle viste en stigning på knap en faktor 10 i perioden efter Ice Pigging. Hermed overhaledes den nye PE-rulle de tre opgravede rør i ATP-niveau. Forklaringen kan være at den nye rulle får mere næring end de opgravede rør i form af alkylphenoler frigivet fra det nye plastmateriale, hvormed biofilmen var stadig under opbygning.

Der blev i forbindelse med Ice Pigging udtaget prøver af isen med det udrensede materiale fra den nye PE-rulle. Resultatet viste 630 pg ATP/mL, dvs. væsentlig over niveauet for indløbsvandet på ca. 3 pg/mL, men også større end værdierne på < 200 pg/mL fundet i de opgravede rør (se afsnit 4.3.2). ATP var på niveau med flere af isprøverne udtaget fra fuldskalaforsøgene, se FIGUR 22.

4.4.3 Molekylære mikrobiologiske metoder

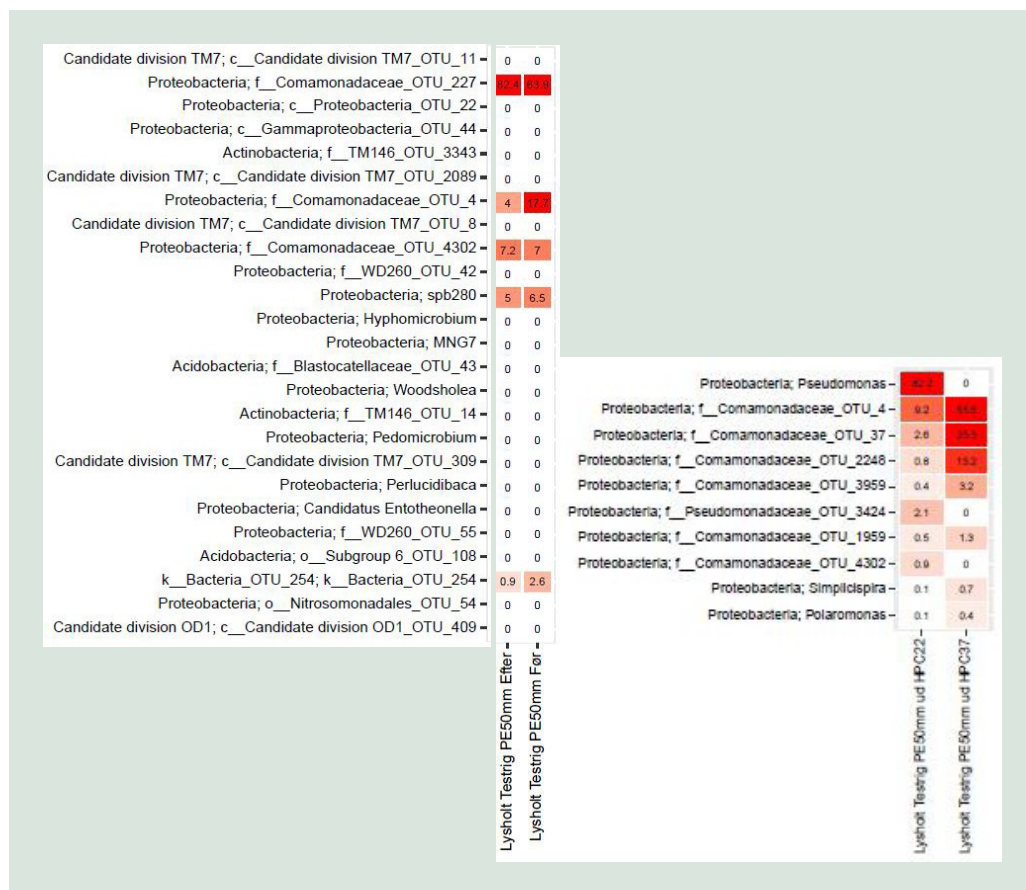
Resultaterne fra de molekylære mikrobiologiske metoder på to swab-prøver fra den nye PE-rulle (før og efter Ice Pigging) ses i TABEL 12. Alle resultater ses i analyserapporten fra firmaet DNA Sense, se Bilag 4.

TABEL 12. Oversigt over qPCR-resultater og den ekstraherede mængde DNA for swab-prøver og prøver fra dybdeudsæd af vandprøver fra den nye PE-rulle, testtriggen (DG=detektionsgrænse).

Prøveidentifikation	Dato	Tidspunkt	qPCR kopier/ μ L	Ekstraktion ng/ μ L
Swab af rørvæggen	25-04-2017	Før pigging	7,1E+05	2
Swab af rørvæggen	25-04-2017	Efter pigging	1,5E+05	<2
Kim 22 dybdeudsæd		Ved kimtop	<DG	3
Kim 37 dybdeudsæd		Ved kimtop	<DG	<2
Kim 37 dybdeudsæd		Ved kimtop	<DG	16

Prøveidentifikation	Dato	Tidspunkt	qPCR kopier/ μ L	Ekstraktion ng/ μ L
Swab af rørvægen	25-04-2017	Før pigging	7,1E+05	2
Swab af rørvægen	25-04-2017	Efter pigging	1,5E+05	<2
Kim 22 dybdeudsæd		Ved kimtop	<DG	3
Kim 37 dybdeudsæd		Ved kimtop	<DG	<2
Kim 22 dybdeudsæd		Ved kimtop	<DG	116

Som det ses af tabellen var udbyttet af DNA ekstraktionen lavt med undtagelse af et par af dybdeudsædsprøverne. Lave værdier for qPCR af swabprøver af den nye rør var ikke uventet, da en fuldudviklet biofilm kunne ikke forventes at blive udviklet på de få ugers indkøring. Resultaterne viser dog en nedgang i q-PCR værdier ved Ice Pigging, dvs. der var færre bakterier på rørvæggene efter Ice Pigging end før Ice Pigging. Resultater fra qPCR af dybdeudsædsprøver var under detektionsgrænsen, som kan hænge sammen med at agarpladerne kan anses for at være en vanskelig matrix.

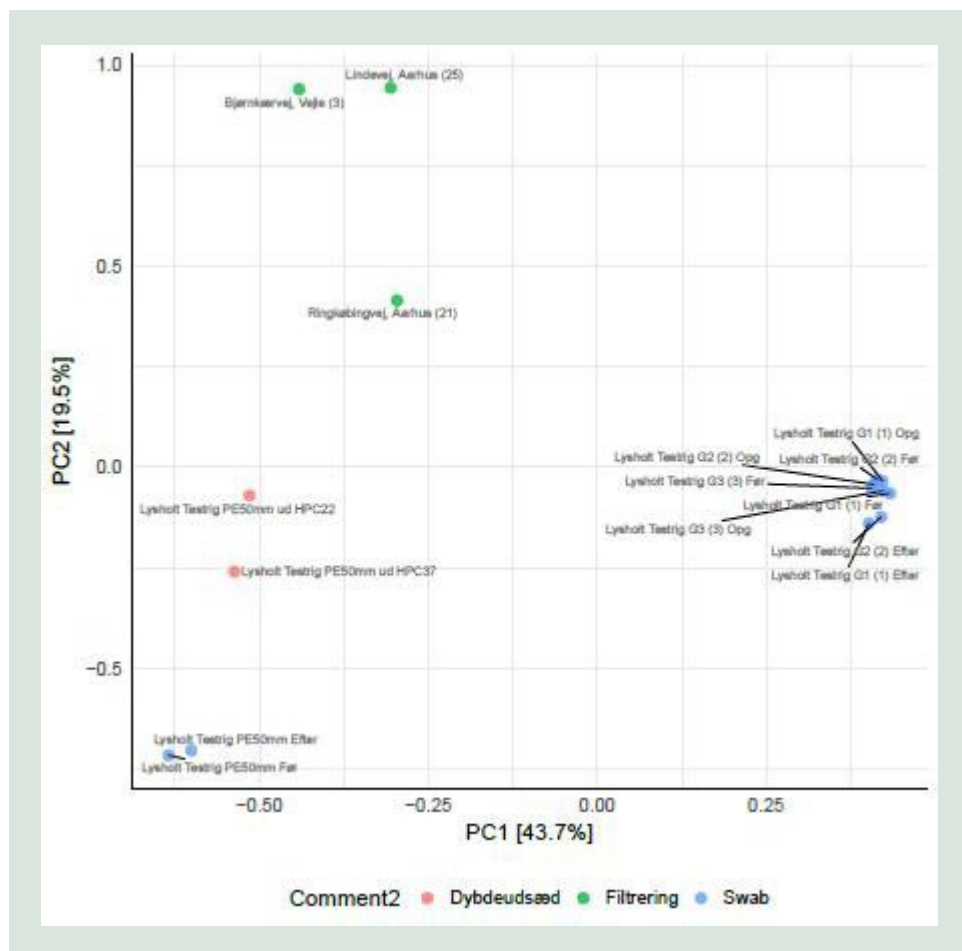


FIGUR 32. De mest hyppigt forekommende slægter i vandprøver fra PE-rullens udløb (til venstre, før og efter Ice Pigging) og dybdeudsædsprøver, der stammer fra vandprøver under indkøring af PE-rullen (til højre).

De dominerende genus i swab-prøver fra den nye PE-rulle var *Comamonadaceae*. Ice Pigging ændrede ikke hvilke bakterier var dominerende. Den dominerende genus i dybdeudsædsprøve (kim 22) var *Pseudomonas*. Denne genus indeholder slægter, der nedbryder

phenollignende stoffer og kan være dominerende som følge af alkylphenoler anvendt i det nye rørs plastmateriale.

Nedenfor ses en Principle Component Analysis for prøver udtaget fra pilotskala og fuldskala.



FIGUR 33. Principle component analysis for prøver udtaget fra pilotskala og fuldskala.

Som det ses af figuren er der store forskelle mellem geografiske områder og mellem ny og gamle rør fra testriggen.

5. Multikriteriemodel

Som et led i at identificere og udvikle nye tjenesteydelser i forbindelse med Ice Pigging, blev der udviklet 1. udgave af en multikriteriemodel til prioritering af områder med sandsynligt behov for rensning. Denne udgave skal ses som et grundlag for en ydelse til vandforsyninger, hvor der er først når multikriteriemodellen er kalibreret, efter erfaringer fra mange strækninger, at det kan fastlægges om behov for rensning kan reelt forudsiges.

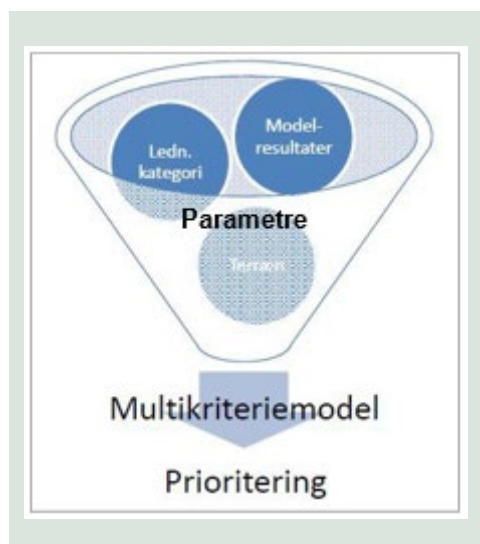
På grund af brugervenlig grænseflade og funktionalitet, der gør det muligt at sammenstille store mængder af data er multikriteriemodellen udviklet i MapInfo.

Den primære funktion af multikriteriemodellen er prioritering af ledningsobjekter efter en række af parametre, som vurderes at have indflydelse på en ledningsstrækningens rensbehov. Et ledningsobjekt defineres som de ledninger, der beregnes prioriteringsindeks på.

Parametrene der anvendes som input til multikriteriemodellen stammer fra 1) resultater fra det hydrauliske modelleringsværktøj AQUIS for et givet forsyningsområde, 2) terrænmodel med lavninger og 3) ledningsregistreringer. Se FIGUR 34 for modelkoncept.

En AQUIS model er en model af ledningsnettet fra vandværk ud til forbruger og kan beregne hydrauliske (tryk/flow) og vandkvalitets (opholdstid/kildeudbredelse) resultater. De anvendte AQUIS modeller er bygget på hhv. AAV og TREFORs ledningsregistrering (DANVAND) og er kørt på baggrund af målte SRO data for tryk/flow fra vandværker/højdebeholdere/trykforøgere.

AQUIS modellerne er opsat således at den målte vandbalance på trykzonerne ligeledes afspejles i modellerne. SRO data har en opløsning af hhv. 1 time (TREFOR) og ½ time (AAV). Modellerne er kørt over en beregningsperiode på 7 dage.



FIGUR 34. Modelkoncept til prioritering af områder med sandsynligt behov for rensning.

Multikriteriemodellen blev anvendt til belysning af rensesbehov ved et aktuelt distributionssystem hos TREFOR Vand og AAV. Nedenstående tekst del beskriver modellen i hovedtræk samt udvalgte resultater fra AAVs forsyningsområde.

5.1 Scoring af parametre

På nuværende tidspunkt indgår følgende parametre som input i multikriteriemodellen:

- Stagnationspunkt (SP)
- Opholdstid (OT)
- Lavpunkt i terræn (LT)
- Ledningskategori (LK)
- Materiale (MA)
- Lægningsår (LA)

I multikriteriemodellen tildeles hver af de 6 benyttede parametre en 'Score' fra 0 til 10, hvor 10 er et udtryk for "dårligst" tilstand. For eksempel, vil ledningsobjekt af støbejern, der generelt er udsat for rust og ophobning af sedimenter, kunne tildeles en score 10 for parameter Materiale.

Efterfølgende forklares de enkelte parametre og hvilke forhold der ligger til grund for fastlæggelse af de konkrete værdier for 'Score'.

5.1.1 Stagnationspunkt

Stagnationspunkter er et udtryk for steder på ringforbindelser i nettet, hvor vandet forventes tilnærmelsesvis at stå stille, hvorfor der her også forventes aflejring af sediment. Data til vurdering af stagnationspunkter fås via hydrauliske resultater fra AQUIS modellen for det givne område. Her nævnes skift i flowretning, vandhastigheder og flow.

Hvis ledningsobjekt har antal retningskift > 1 (over 7 dages beregningsperiode) og middelvandhastighed under 0,02 m/s, tildeles den score 10 for parameter 'Stagnationspunkt', ellers score 0.

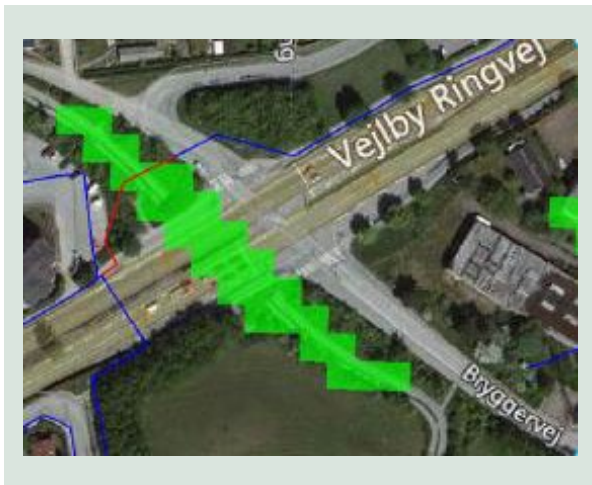
5.1.2 Opholdstid

Opholdstiden er udtryk for, hvor længe vandet opholder sig i ledningsnettet, før det når ud til forbrugeren. Opholdstiden kan på den måde også være med til at fremhæve ledningsobjekter, hvor vandet opholder sig i lang tid, og der vil således til dels være sammenfald mellem stagnationspunkter og høj opholdstid. Høj opholdstid vil dog ikke altid være en indikator i sig selv, da høj opholdstid må forventes i ledningsnettets yderpunkter.

Hvis ledningsobjekt har opholdstid på 0,5-1 dag tildeles den score 4 for parameter 'Opholdstid', score 6 ved 1-2 dages opholdstid, score 8 ved 2-3 dages opholdstid og score 10 ved > 3 dages opholdstid.

5.1.3 Lavpunkter i terræn

Lavpunkter i terrænet udpeges, da der forventes større risiko for ophobning af sediment på disse ledningsobjekter. Der benyttes en terrænmodel til at udpege områder med lavpunkter, og ledningsobjekter beliggende heri, gives en værdi herudfra. Den benyttede terrænmodel er "Nedbør: Lavninger" fra <https://kortforsyningen.dk/>. Denne model indeholder polygoner for områder med en given regndybde, se FIGUR 35.



FIGUR 35. Angivelse af lavning (grøn) med minimum dybde på 2 m (kilde: <https://kortforsyningen.dk/>).

Hvis ledningsobjekt ligger med en dybde > 2 m, tildeles den score 10 for parameter 'Lavpunkt', ellers score 0.

5.1.4 Ledningskategori

Ledningskategorien medtages i vurderingen ud fra den betragtning, at aflejring af sediment i en transmissionsledning potentielt set kan påvirke flere forbrugere end i en forsyningsledning, hvorfor rensning af en transmissionsledning vægtes højere.

Hvis ledningsobjekt er en forsyningsledning, tildeles den score 2 for parameter 'Ledningskategori', score 6 hvis distributionsledning og score 10 hvis transmissionsledning.

5.1.5 Materiale

Rørmateriale kan være indikation for større risiko for ophobning af sedimenter, hvor især støbejern er udsat for korrosion og kan udvikle aflejringer af rust, hvorfor rensning af en støbejernsledning vægtes højt.

Hvis ledningsobjekt er lavet ud af PE tildeles den score 0 for parameter 'Materiale', score 2 hvis PVC og score 10 hvis støbejern eller eternit. Hvis 'Materiale' er defineret som "andet" antages der score 5.

5.1.6 Lægningsår

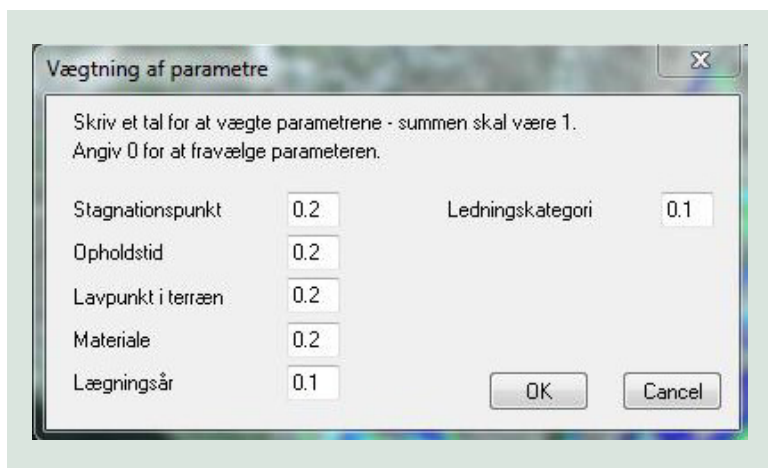
Lægningsår kan være med til at udpege ledningsobjekter, hvor der med tiden er blevet aflejret rust, kalk mv.

Hvis ledningsobjekt er lagt jorden efter år 2000 tildeles den score 0 for parameter 'Lægningsår', score 4 hvis lagt i jord mellem år 1990-2000, score 6 mellem år 1980-1990, score 8 mellem år 1960-1980 og score 10 hvis før 1960.

5.2 Vægtning af parametre

Udover at tildeling af 'Score' er parametrene endvidere vægtet ud fra betydningen, som denne tillægges set i forhold til rensbehov. Det vil sige, at parameter 'Lavpunkt' kan ifølge erfaring eller kalibrering have højere betydning for rensbehov en parameter 'Lægningsår'.

Vægtning af parametre sker i MapInfo jf. FIGUR 36, og skal summen være 1 (benævnt V_{xx} herefter).



FIGUR 36. Eksempel på vægtning af parametre – skærmdump fra MapInfo del af værktøjet.

5.3 Prioriteringsindeks

Efter at parametre er tildelt en 'Score' og vægtet ud fra betydning for rensebehovet, udregner multikriteriemodellen en prioriteringsindeks (P) for hvert ledningsobjekt ud fra følgende formel:

$$P = V_{SP} * SP + V_{OT} * OT + V_{LT} * LT + V_{LK} * LK + V_{MA} * MA + V_{LA} * LA$$

Den endelige prioriteringsindeks for alle ledningsobjekter vil ligge mellem 0 og 10, hvor 10 er det største indeks og dermed har 1. prioritet ift. gennemførelse af rensning.

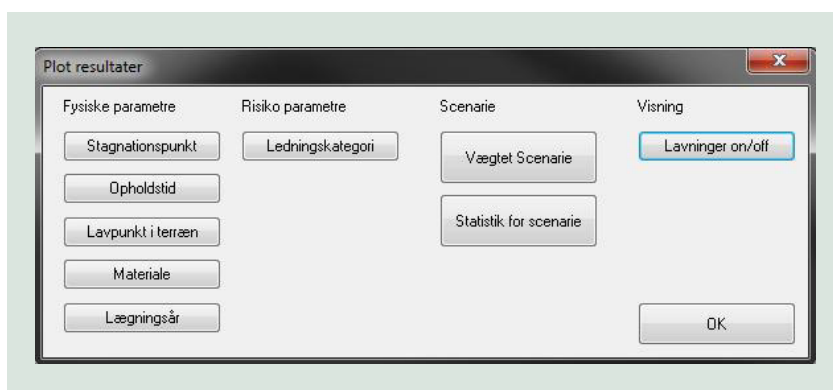
For eksempel, vil ledningsobjekt af støbejern, udpeget som distributionsledning, lagt i jorden året 1983 i 2,5 m dybde, med beregnet ledningshastighed >0,02 m/s og 2 dages opholdstid få en efterfølgende prioriteringsindeks:

$$P = 0,2*0 + 0,2*8 + 0,2*10 + 0,1*6 + 0,2*10 + 0,1*6 = \underline{6,8}$$

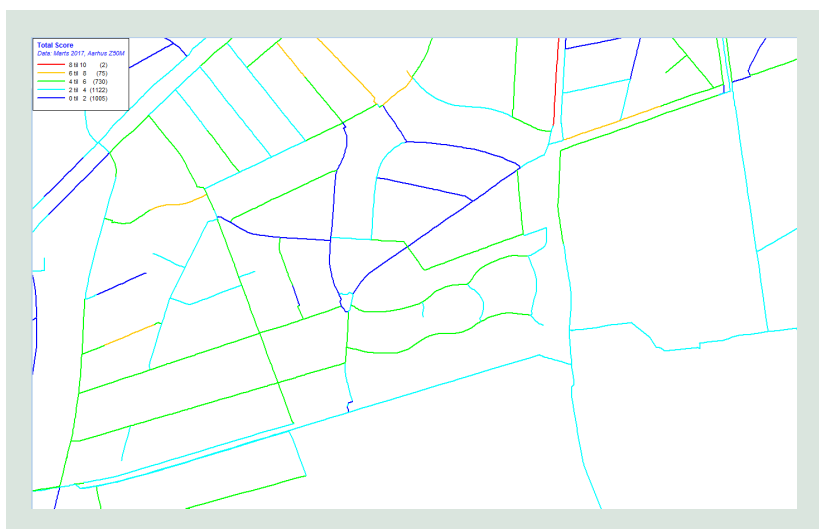
5.4 Resultater

5.4.1 Generelt

Resultaterne af prioriteringen kan ses ved tematiseringsplot af ledningsnettet. Det er muligt at se plot for de enkelte parametre og for det vægtede scenarie, se FIGUR 37 og FIGUR 38.



FIGUR 37. Valg af resultat plot.



FIGUR 38. Resultat plot for det vægtede scenarie, ledningsobjekter farvemarkeret efter forskellige resultater for prioriteringsindeks.

Udover visuel tematisering af ledningsnettet, kan der genereres nøgletal (se FIGUR 39), for at skabe et overblik over ledningsnettets prioriteringsindeks ud fra de givne parametre og vægtning.

- Antal ledningsobjekter
- Antal km ledning
- Procentdel af total længde

Score	Antal	km_ledning	Procentdel_af_total_længde
0-2	1.005	74	30
2-4	1.122	97	39
4-6	730	70	28
6-8	75	7	3
8-10	2	0	0

FIGUR 39. Statistik over ledningsnettet.

5.4.2 Udvalgte ledninger i Aarhus Vand ledningsnet

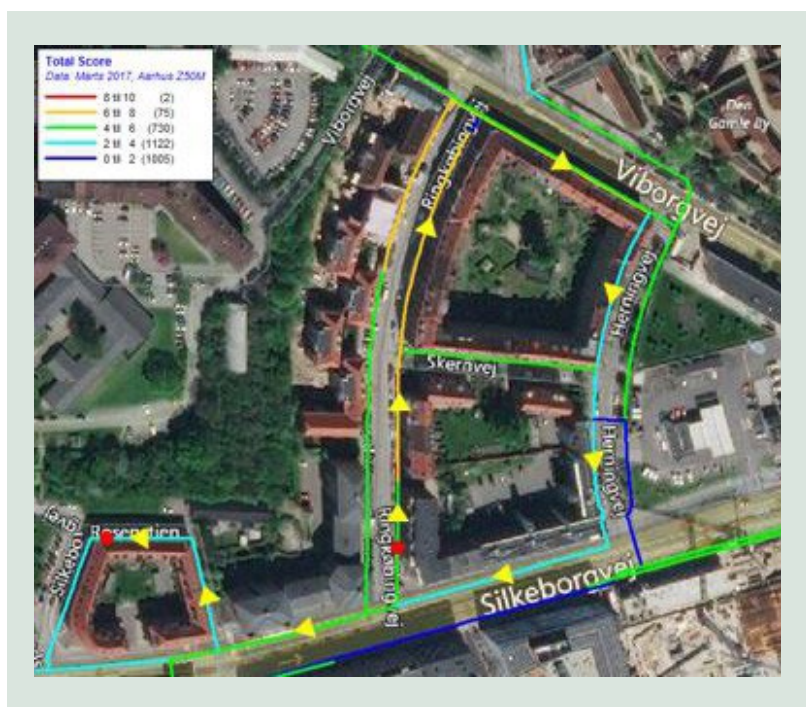
I Aarhus er der foretaget feltprøver af Ice pigging metoden på givne strækninger i byen. Det nævnes at strækningerne havde før udvikling af multikriteriemodellen blevet udvalgt ud fra at der var historiske kundeforhold om misfarvet vand uden at disse kunne henføres til fx et tidligere brud eller en brandhændelse (stort forbrug af vand til brandslukning). Desuden skulle rensningen også være praktisk mulig. Desuden blev der foretaget ledningsnetberegninger som skulle indikere lavere strømningshastigheder i ledningerne og dermed større risiko for afsætning af biofilm og sediment. Der burde således være et rensebehov, men det er ofte svært at skelne mellem kundeforhold, som havde baggrund i påvirkninger fra folks egne vandinstallationer og de klager, som har baggrund i påvirkninger fra vandforsyningens ledningsnet. Der var i alle tilfælde flere forhold, som kunne indikere en sandsynlighed for et behov i større eller mindre grad.

Nogle af disse strækninger sammenlignes her med resultatet fra multikriteriemodellen. Parameteropsætning og vægtning er som forklaret i afsnit 5.1 og 5.2.

5.4.2.1 Ringkøbingvej

Den undersøgte strækning er primært Ringkøbingvej fra Viborgvej ned mod Rosenstien. Materialet på strækningen er støbejern og ledningerne er lagt før 1960. 50% af strækningen er med

multikriteriemodellens pågældende parameteropsætning og vægtning scoret til 4-6 og ca. 50% til 6-8. Ifølge multikriteriemodellen er der et rensebehov her.



FIGUR 40. Plot af vægtet scenarie for ledningerne ved Ringkøbingvej. Ind og udløb is markeres af røde punkter, isens strømningsretning gult markeret.

5.4.2.2 Egsagervej

Den undersøgte strækning er fra Egsagervej ned ad Elkjærvej til Vester Søgårdsvej. Multikriteriemodellen scorer ca. 80% af strækningen til 2-4 og 20% til 4-6. Hermed er der ifølge modellen ikke videre behov for rensning på denne strækning. Scoren forklares ved at materialet på strækningen er PVC og ledningerne er lagt mellem 1971 og 1986. Ledningerne i Egsagervej er udpeget som stagnationspunkt, så her scores højt på stagnationspunkt og opholdstid, mens Elkjærvej og Vester Søgårdsvej scorer lavere her.

PVC-ledningen på Egsagervej kunne have behov for rensning, da den scorer 6-8, grundet stagnationspunkt, opholdstid, materiale og lægningsår.

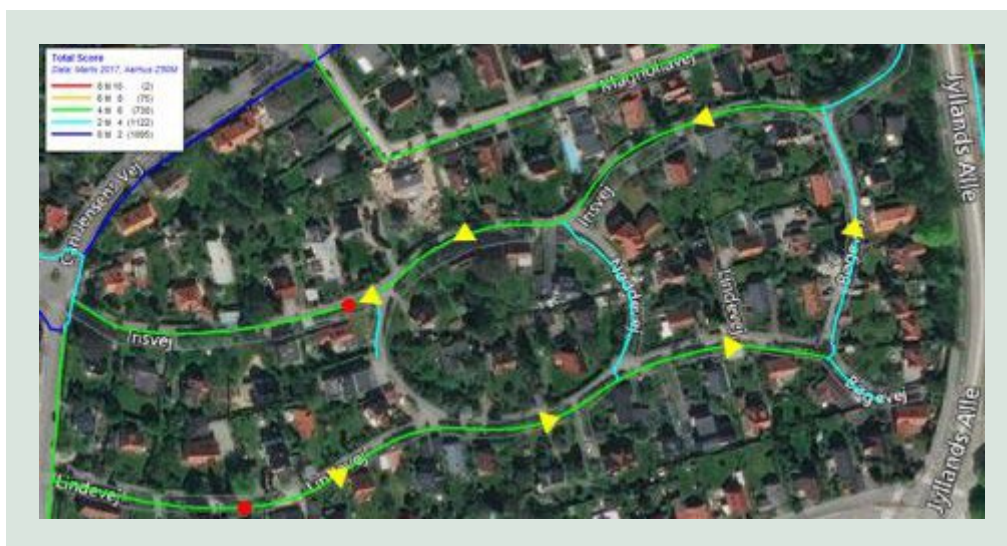


FIGUR 41. Plot af vægtet scenarie for ledningerne i Egsagervej, Elkjærvej og Vester Søgårdsvej.

5.4.2.3 Lindevej

Den undersøgte strækning er Irisvej, Bøgevej og Lindevej. Materialet er støbejern og stål og størstedelen er lagt før 1960, hvorfor der scores 10 på lægningsår og der på støbejernsledninger scores 10 på materiale, mens stålledningerne scorer 5 på materiale (andet). Opholdstiden er >1 dag, hvorfor der her scores 4.

Prioriteringsscore viser ca. 80% af strækningen 4-6, mens 20% scorer 2-4, altså en middel score, hvorfor multikriteriemodellen ikke viser noget større behov for rensning.



FIGUR 42. Plot af vægtet scenarie for ledningerne i Irisvej, Bøgevej og Lindevej i Viby.

5.5 Multikriteriemodel - Diskussion

Fokus i denne del af modeludviklingen har primært været på, at designe og programmere modellen samt at få indsamlet data til grundlag for scoring samt vægtning af parametre. I en videreudvikling af modellen kunne fokus være at arbejde med en kalibrering af de enkelte modelparametre, evt. ved at sammenligne med registrering af forbrugerklager for dårligt vand.

Der findes endvidere flere parametre som ikke har været behandlet i dette projekt og har potentielle i en videreudvikling af modellen, fx Følsomme forbrugere (skoler, hospitaler), trykstød, risikoledninger, driftstilstand, anden planlægning, afstand fra vandværk, vandkvalitet og rensningshistorik.

6. Konklusioner og anbefalinger

6.1 Konklusioner

Dette projekt blev gennemført dels som demonstration i fuldskala og dels som undersøgelser på en testrig. Fuldskalademonstrationen blev udført på 7 ledningsstrækninger. Der blev renset en total længde på 3,2 km ledningsstrækning, fordelt på rørdiametre mellem 80 og 200 mm og 3 rørmaterialer (PVC, PE og støbejern). Testrigundersøgelser blev udført på 4 rørsektioner, inklusiv 3 opgravede sektioner af 3 m hver samt en ny 100 m ledningsrulle. Hovedkonklusioner fra projektet er angivet nedenfor.

6.1.1 Planlægning

1. **Mange praktiske forberedelser:** Demonstrationsprojektet har vist, at der kræves en del forberedelser for at sikre en glat gennemførsel af metoden. Placering af ventiler til isolation af strækningen, valg af isens tilgang/afgang, ventilers tæthed, det opnåelige tryk og flow på strækningen (inkl. afgangshænen), tilstedeværelse af ukendte forgreninger på strækningen, behov for tilkoblingsfittings, m.m. skal alle undersøges grundigt på forhånd.
2. **Behov for varsling:** Forbrugere skal altid varsles, da der sker en lukning af vand, og da der er risiko for rødt vand i perioden. Varsling har også til hensigt at sikre, at der ikke trækkes salt og misfarvet vand ind i kundernes installationer.
3. **Udpegning af strækninger:** Da vandforsyninger typisk har mange kilometer drikkevandsledninger, er der behov for at prioritere hvilke strækninger, der bør oprensnes. Dette kan ske på baggrund af klager om rødt vand eller ved modellering. Multikriteriemodellen, der blev opbygget til denne opgave, kan først vise sin værdi, når den er kalibreret op mod flere data.

6.1.2 Gennemførsel af Ice Pigging

1. **Kort oprensningstid:** Selve rensningen foregår hurtig, således at vandlukningen var begrænset til ca. 1½ time. Varsling kan fx være på 4 timer for at give lidt spillerum for evt. uforudsete problemer.
2. **Lille vandforbrug:** Der blev brugt en meget begrænset vandmængde til skylning. Mængden svarede til 1,7 – 6,3 rørvoluminer.
3. **Biofilm:** Hovedparten men ikke al biofilmen i rørene blev fjernet. Der var ingen væsentlig forskel i de forskellige istykkelser, der blev anvendt. Tilbageværelse af lidt biofilm kan evt. være en fordel for den efterfølgende mikrobielle kvalitet af vandet.
4. **Stor variation i mængden af fjernet materiale:** Mængden af fjernet materiale på de 7 fuldskala strækninger varierede fra 3,4 - 297 kg/km. Denne store forskel understreger behov for en metode til forudsigelse.
5. **Smelterisiko i støbejernsledninger:** Isen smeltede før afløbet ved de to støbejernsstrækninger, hvorfor der formentlig blev opnået en ringere renseseffekt på disse strækninger. Løsningen er at anvende en større mængde is, pigge korte strækninger

og sikre et højt flow. Især ved støbejernsledninger er det en væsentlig parameter for rensningens effektivitet.

6.1.3 Opfølgning

1. **Hurtig idriftsættelse:** Der blev ikke observeret stigning i kimtallet i perioden efter Ice Pigging (med en enkelt undtagelse). Hermed var der ikke nye afrivningstoppe, selv i et nyt rør. Det betyder, at rensede ledninger kan idriftsættes til forbrug umiddelbart efter pigging.
2. **Straks tilbagevending til normal flowmønster:** Efter pigging kan det normale flowmønster i ledningsnettet genoptages med det samme. Dvs. at der ikke er grundlag for at undgå flow i en ringforbindelse i en periode efter pigging. Dette vil formentlig afhjælpe den ene undtagelse, hvor lukkede ventiler blev holdt lukket for at sikre imødegå en risiko for kontaminering af et større område. Det forventes, at det meget lille flow kan have medvirket til efterfølgende højere kimtal.

6.1.4 Vidensopbygning

1. **Fjernet materiale består af små jernoxidpartikler:** Karakterisering af det fjernede materiale viste, at der overvejende er tale om små, jernoxidpartikler i en størrelse ($< 5 \mu\text{m}$) svarende til finsilt eller mindre. Hermed kan materialet evt. hovedsagelig stamme fra returskylning af vandværkernes sandfiltre, især i perioden umiddelbart efter et returskyl, hvor turbiditeten er høj. Det fjernede materiale indeholdt også lidt mangan og NVOC.
2. **Mikrobiel karakterisering af fjernet materiale:** Undersøgelserne viste en variation i det bakterielle samfund, der blev fjernet ved isen mellem de forskellige ledningsstrækninger.

Karakterisering af afrivningstop i nye rør: Undersøgelserne viste, at årsagen til forhøjet kimtal i perioden ca. 14 dage efter idriftsættelse af nye rør primært skyldes *Pseudomonas* bakterier. Det kan være at disse bakterier lever på alkylphenoler, der frigives fra PE-materialet.

6.2 Anbefalinger

Projektet giver anledning til følgende anbefalinger:

1. **Protokol til udvidet forundersøgelse.** Projektet har vist et behov for udvikling og implementering af en udvidet forundersøgelse på hver ledningsstrækning, der skal renses. Følgende punkter kan indgå i en forundersøgelse: a) Da selv små utætheder er problematiske, skal ventilernes tæthed undersøges nøje. Der kan være tale om isolering af strækningen ved lukning af ventiler opstrøms og nedstrøms og logging af trykket over tid. Hvis trykket stiger skal ventilerne udskiftes. Målingen skal evt. gentages, da en ventil, der ikke er blevet motioneret i længere tid, kan fungere første gang, men måske ikke anden gang. Evt. utætte ventiler udskiftes, hvilket også blev udført i enkelte tilfælde forud for testen. Der bør udpeges alternative ventiler til evt. udvidelse af det lukkede område, hvis det skulle vise sig at være nødvendig og det skal overvejes om en forudgående varslings af det udvidede område bør udføres. b) Der bør udføres en flowtest for at sikre, at tryktabet i ledningsnettet og afløbsventilen (fx brandhane) er acceptable. c) Der kan evt. udføres et sporstofforsøg ved indpumpning af saltvand efter tæthedsprøvning og måling af ledningsevne ved udløbet på samme vis som ved selve Ice Pigging. Hermed kan isens opholdstid estimeres, og der fås oplysninger om der evt. findes ukendte forgreninger på strækningen. Udførsel af en sådan test skal dog afvejes op mod kundernes risiko for at få salt vand i deres installationer og alternativt vil testen medføre et ekstraarbejde i form af 2 varslinger til kunderne.

2. **Protokol vedrørende hygiejne.** Projektet har vist et behov for udvikling og implementering af en udvidet hygiejneprotokol. Protokollen kan omtale: a) Håndtering af slanger ved påfyldning af isbilen og pumpning af is til rørstrækningen. b) Rengøring af isbilens tank. c) Rengøring af indløb, udløb og prøvehaner.
3. **Oprettelse af landsdækkende database.** Det vil være formålstjenlig at oprette en landsdækkende database så hurtigt som mulig. Hermed kan alle erfaringer fra danske Ice Pigging projekter indsamles på en standardiseret måde. Disse oplysninger vil være til stor gavn for forståelse af tilstanden af danske drikkevandsledninger.
4. **Kalibrering af modellen.** Der er behov for kalibrering af multikriteriemodellen. Det er først når der er erfaringer fra mange strækninger, at det kan fastlægges, om behov for rensning kan forudses. En efterfølgende validering af modellen vil også være formålstjenlig således at rensningseffekten holdes op mod modellens forudsigelser af et rensningsbehov.

6.3 Perspektivering

I dette afsnit er der fokus på at svare på følgende spørgsmål: Hvor stor en udbredelse vil Ice Pigging få i den danske vandforsyningsbranche? Hvilke nye ydelser – evt. også på eksportmarkedet – giver Ice Pigging anledning til?

6.3.1 Ice Piggings fremtid i Danmark

Det er vigtigt at vurdere om den danske vandbranche oplever et behov for en alternativ til skylning af beskidte drikkevandsledninger. Dette kan evt. gøres mere kvalificeret ved at gennemføre en behovsundersøgelse blandt forsyningerne. I samme lejlighed kunne man fastlægge, om forsyningerne har fx en pragmatisk tilgang, hvor der i en lang årrække vil være behov for rensning indtil man når at undgå at gøre rørene beskidte.

Ud over kortlægning af behovet for rensning skal der laves en business case for indførelsen af Ice Pigging i Danmark. Der skal naturligvis være mulighed for en vis indtjening før et dansk firma evt. går i gang med at tilbyde ydelser.

6.3.2 Nye ydelser

Prioritering af ledningsstrækninger: Multikriteriemodellen giver grundlag for en ydelse til forsyninger for at finde frem til de mest problematiske ledningsstrækninger. Denne ydelse kræver en forudgående kalibrering af modellen.

Forbedring af returskylning: Dette projekt har sat fokus på at turbiditet i perioden efter returskylning kan være en hovedårsag til akkumulering af partikulært materiale i drikkevandsledninger. Hermed er det oplagt, at der tilbydes nye ydelser vedrørende forbedring af returskylning på vandværkerne. Ved at undgå tilførsel af nye partikler kan man starte et renseprogram, der anvender en række Ice Pigging med start i den opstrøms ende (fra vandværket eller fra overgangen mellem stor og lille diameter) og ud mod de fjerne forbrugeres stikledninger.

7. Referencer

- Gupta, A & Sircar, A., 2016. Introduction to Pigging & a Case Study on Pigging of an Onshore Crude Oil Trunkline. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, Vol V(II), sider 18-25.
- Jørgensen, C, Albrechtsen, H.J., Arvin, E. & Corfitzen, C.B., 2002. Undersøgelse af bakterieantal og eftervækstpotentiale i vandværksvand. Miljøprojekt Nr. 719.
- Liu, S, C Gunawan, N Barraud, SA Rice, EJ Harry & R Amal, 2016. Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution System, *Environ. Sci. Technol.* 50, 8954-8976.
- Liu, G., Bakker, G.L., Li, S., Vreeburg, J.H.G., Verberk, J.Q.J.C., Medema, G.J., Liu, W.T., Van Dijk, J.C., 2014. Pyrosequencing Reveals Bacterial Communities in Unchlorinated Drinking Water Distribution System: An Integral Study of Bulk Water, Suspended Solids, Loose Deposits, and Pipe Wall Biofilm. *Environmental Science & Technology*, 48, sider 5467-5476.
- Otto, C., Zahn, S., Rost, F., Sahn, P., Jaros, D., & Rohm, H., 2011. Physical Methods for Cleaning and Disinfection of Surfaces. *Food Eng. Rev.* 3, sider 171-188.
- Prest, E.I., Hammes, F., van Loosdrecht, M.C.M. & Vrouwenvelder, J.S., 2016. Biological stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges. *Frontiers in Microbiology* Vol. 7(45).
- Quarini J., 2002. Ice-pigging to reduce and remove fouling and to achieve clean-in-place. *Applied Thermal Engineering*, Vol 22, sider 747-753.
- Quarini, J & S Shire, 2007. A review of fluid-driven pipeline pigs and their applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*.
- Quarini, G.; Aislie, E.; Ash, D.; et al., 2013. Transient thermal performance of ice slurries pumped through pipes. *Applied Thermal Engineering*, Volume: 50 Issue: 1 Pages: 743-748.
- Vreeburg, J.H.G., Schippers, D., Verberk, J.Q.J.C. & Dijk, J.C., 2008. Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system. *Water Research* Vol 42, sider 4233-4242.
- Wingender, J. & Flemming, H.-C., 2011. Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214, sider 417-423.
- Zhang, J., Li, W-Y., Wang, F., Qian, L., Xy, C., Liu, Y., Qi, W., 2016. Exploring the biological stability situation of a full scale water distribution system in south China by three biological stability evaluations methods. *Chemosphere* 161, sider 42-52.

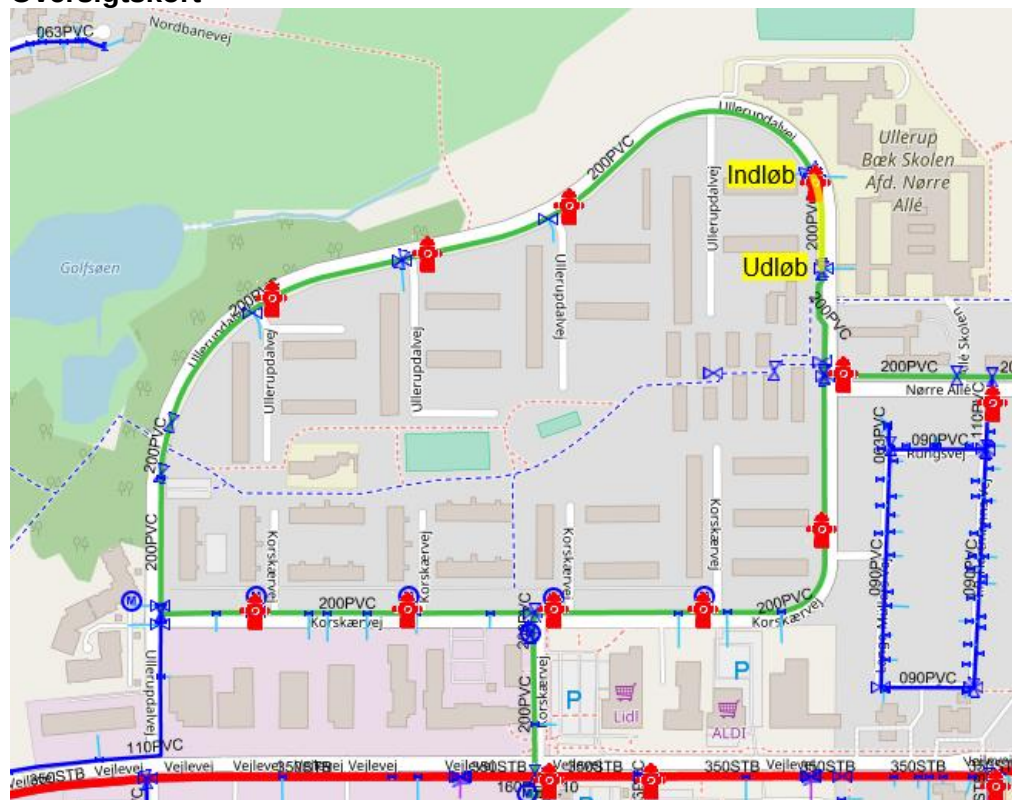
Bilag 1. Lokalitetsbeskrivelser

Bilag 1. Lokalitetsbeskrivelser

Bilag 1.1 LOKALITETSOVERSIGT – ULLERUPDALVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Man 24-04-2017	Ullerupdalvej	Fredericia

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang is
Renset ledning gult markeret

Ice Piggig Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Ullerupdalvej	60	Ø200	PVC	Distribution	Brandhane	Anboring

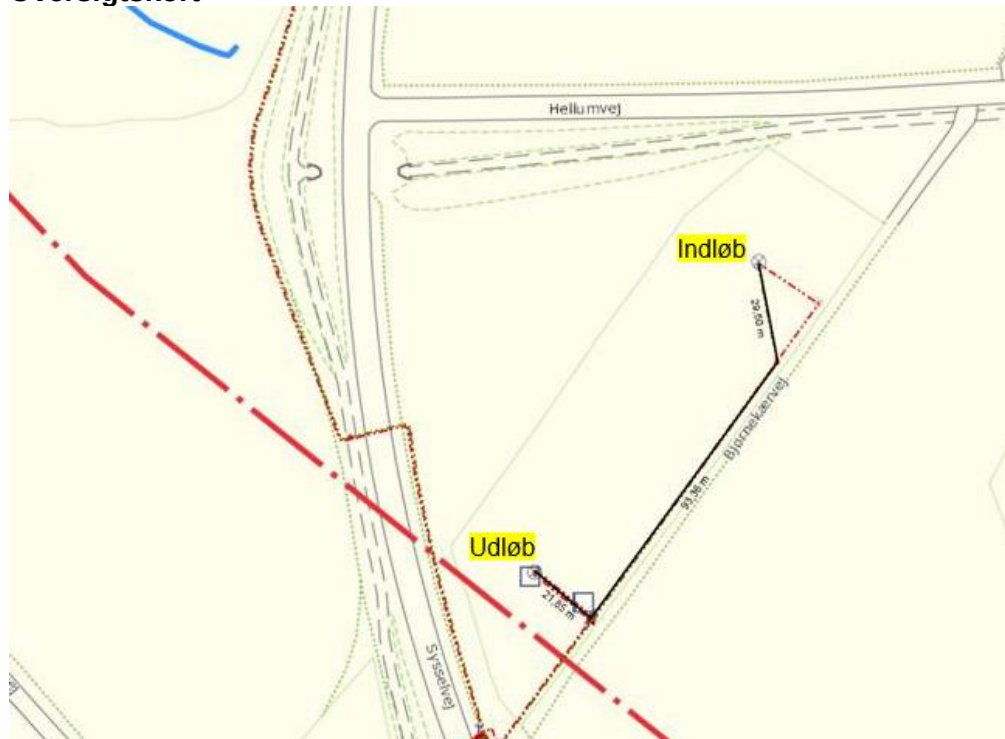
Kommentar til årsagen til strækningsudvælgelse

Strækning, hvor vandstrømmen kan vende ved almindelig drift. Aflukning uden forstyrrelse af kunder.

Bilag 1.2 LOKALITETSOVERSIGT – BJØRNEKÆRVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Tir 25-04-2017	Bjørnekærvej	Vejle

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang is
Renset ledning sort markeret

Ice Pigging Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Bjørnekærvej	144	Ø160	PEK	Råvand	Koblingsstuds	Koblingsstuds

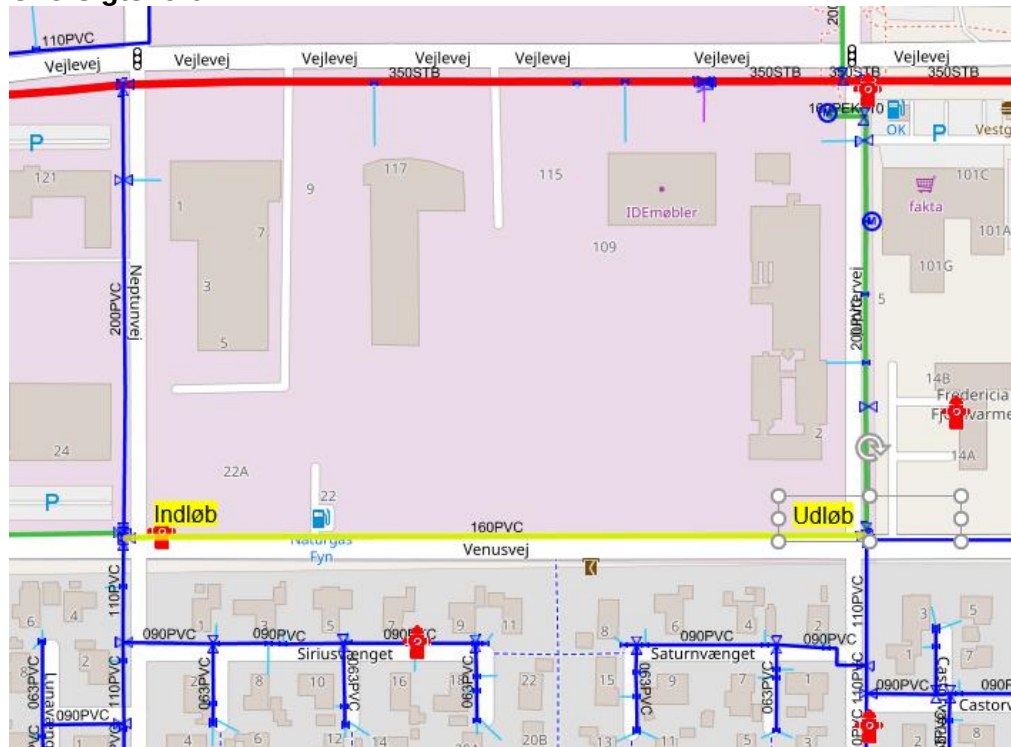
Kommentar til årsagen til strækningsudvælgelse

Råvandsledning, der kunne tages ud af drift.

Bilag 1.3 LOKALITETSOVERSIGT – VENUSVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Ons 26-04-2017	Venusvej	Fredericia

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang is
Renset ledning gult markeret

Ice Pigging Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Venusvej	350	Ø160	PVC	Distribution	Anboring	Anboring

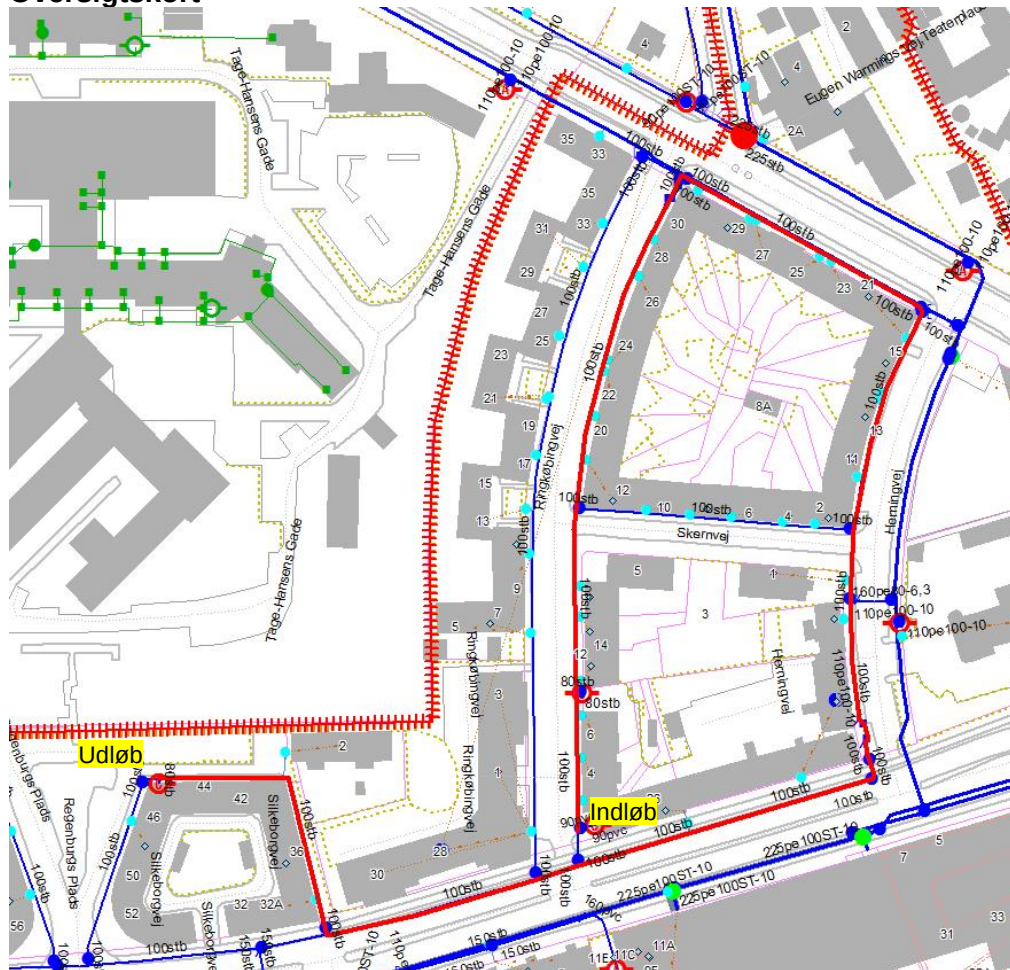
Kommentar til årsagen til strækingsudvælgelse

Tidligere problemer med rødt vand i området. Strækning hvor vandstrømmen kan vende ved almindelig drift. Afledning uden forstyrrelse af kunder.

Bilag 1.4 LOKALITETSOVERSIGT – RINGKØBINGVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Tors 27-04-2017	Ringkøbingvej	Aarhus

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang is
Renset ledning rødt markeret

Ice Pigging Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Ringkøbingvej	590	Ø100	Støbejern	Forsyning	Brandhane	Brandhane

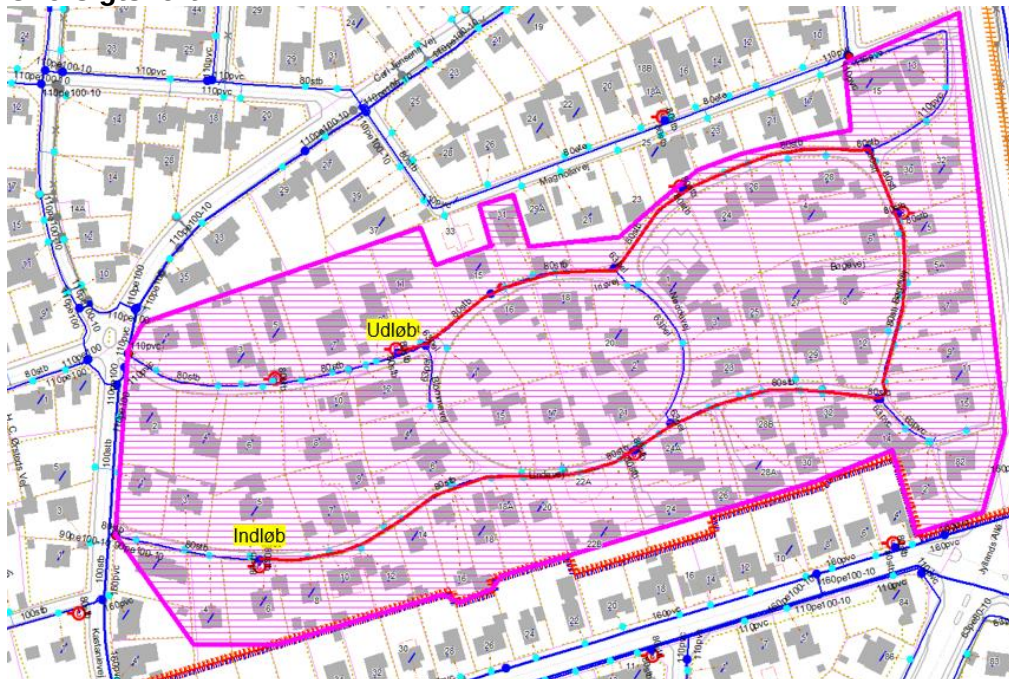
Kommentar til årsagen til strækningens udvælgelse

Klager over misfarvet vand.

Bilag 1.5 LOKALITETSOVERSIGT – LINDEVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Tors 27-04-2017	Lindevej	Aarhus

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang is
Renset ledning rødt markeret

Ice Pigging Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Lindevej	650	Ø80/100	Støbejern	Forsyning	Brandhane	Brandhane

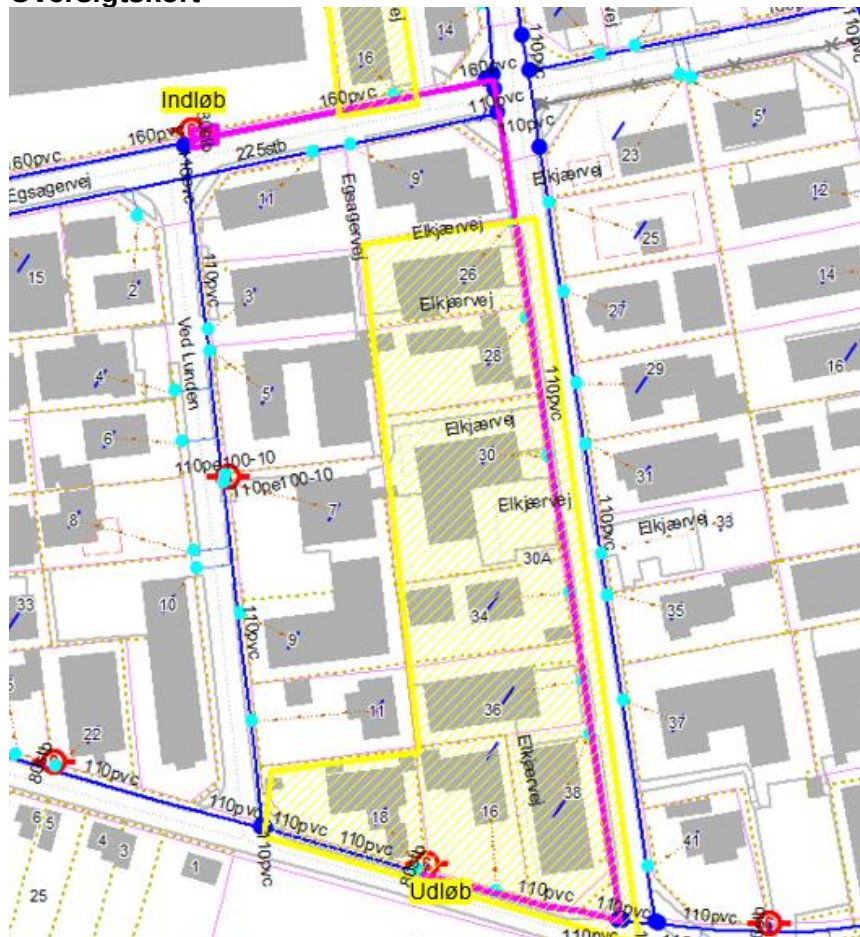
Kommentar til årsagen til strækningsudvælgelse

Klager over misfarvet vand.

Bilag 1.6 LOKALITETSOVERSIGT – EGSAGERVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Fre 28-04-2017	Egsagervej	Aarhus

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang is
Renset ledning lilla markeret

Ice Pigging Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Egsagervej	650	Ø110/160	PVC	Forsyning	Brandhane	Brandhane

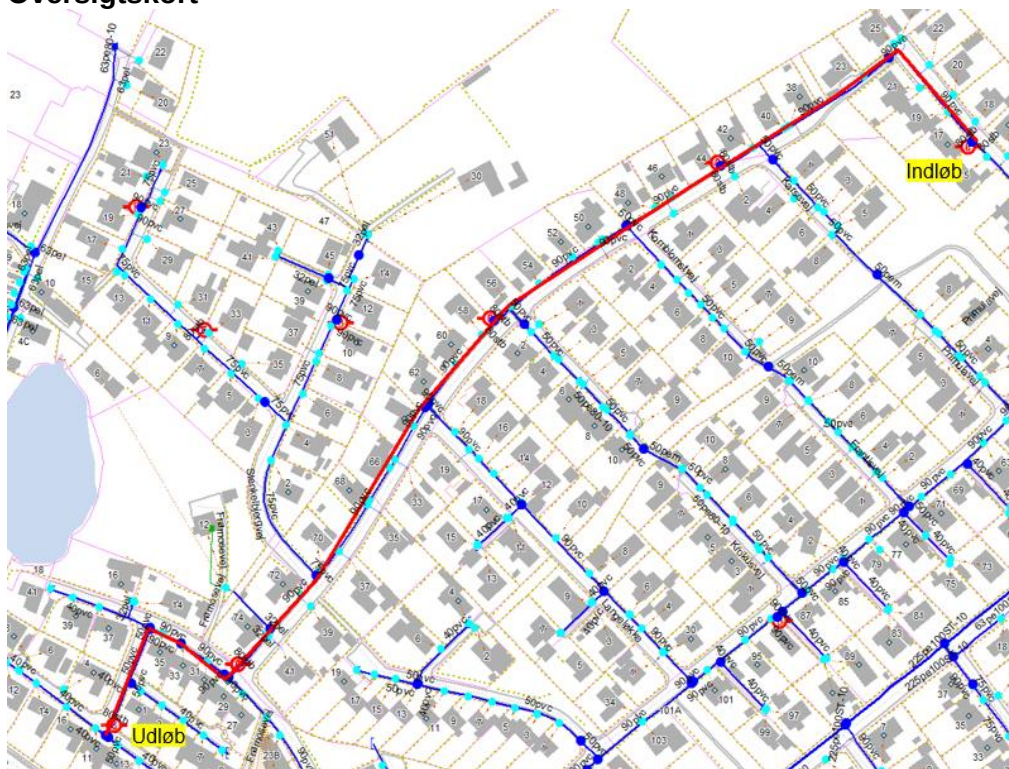
Kommentar til årsagen til strækningsudvælgelse

Klager over misfarvet vand.

Bilag 1.7 LOKALITETSOVERSIGT – SØBAKKEVEJ

Ice Pigging dato	Lokalitet, vejnavn	By
Fre 28-04-2017	Søbakkevej	Aarhus

Oversigtskort



Indløb: Indpumpning af is – Udløb: Afgang af is
Renset ledning rødt markeret

Ice Pigging Lokalitet	Rørlængde [m]	Diameter [mm]	Materiale	Type af vand	Tilkobling opstrøms	Tilkobling nedstrøms
Søbakkevej	756	Ø90	PVC	Forsyning	Brandhane	Brandhane

Kommentar til årsagen til strækingsudvælgelse

Bilag 2. SUEZ procesrapporter

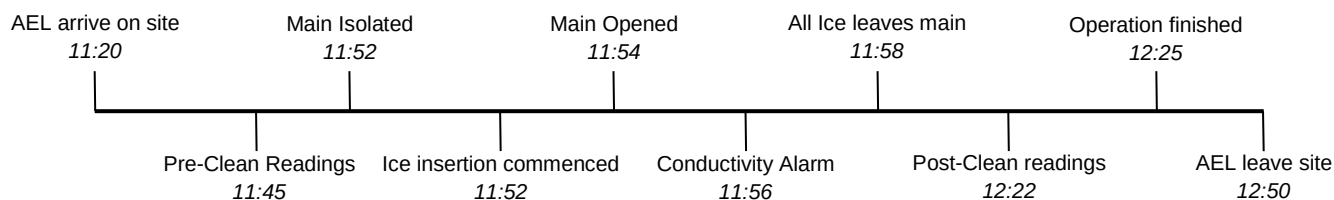
Bilag 2.1	Ullerupdalvej 24-04-17
Bilag 2.2	BJOERNKAERVEJ 25-04-17
Bilag 2.3	Venusvej 26-04-17
Bilag 2.4	Ringkobingvej 27-04-17
Bilag 2.5	Lindevej 27-04-17
Bilag 2.6	Egsagervej 28-04-17
Bilag 2.7	Sobakkevej 28-04-17

Operational Report

Run Details

Client:	TREFOR	Pipe Length:	60m
Date:	24/04/2017	Pipe Diameter:	200 mm
Location:	Frederica – Denmark	Material:	PVC
Insertion Point:	Ullerupdalvej	Volume of ice:	2 m ³
Discharge Point:	Ullerupdalvej	Ice fraction:	85%
Usage:	Potable Supply	Total water used:	11.8m ³

Site Procedure



Results Summary

Pre and post clean		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	20	13
Temperature (°C)	8.4	8.3
Pressure (BAR)	4.2	4.2
Conductivity (mS/cm)	0.5	0.52

Ambient Temp (°C)	11	Lowest Temperature Reached (°C)	-5.3	Maximum Flow Rate (l/sec)	16
-------------------	----	---------------------------------	------	---------------------------	----

Sample Photograph

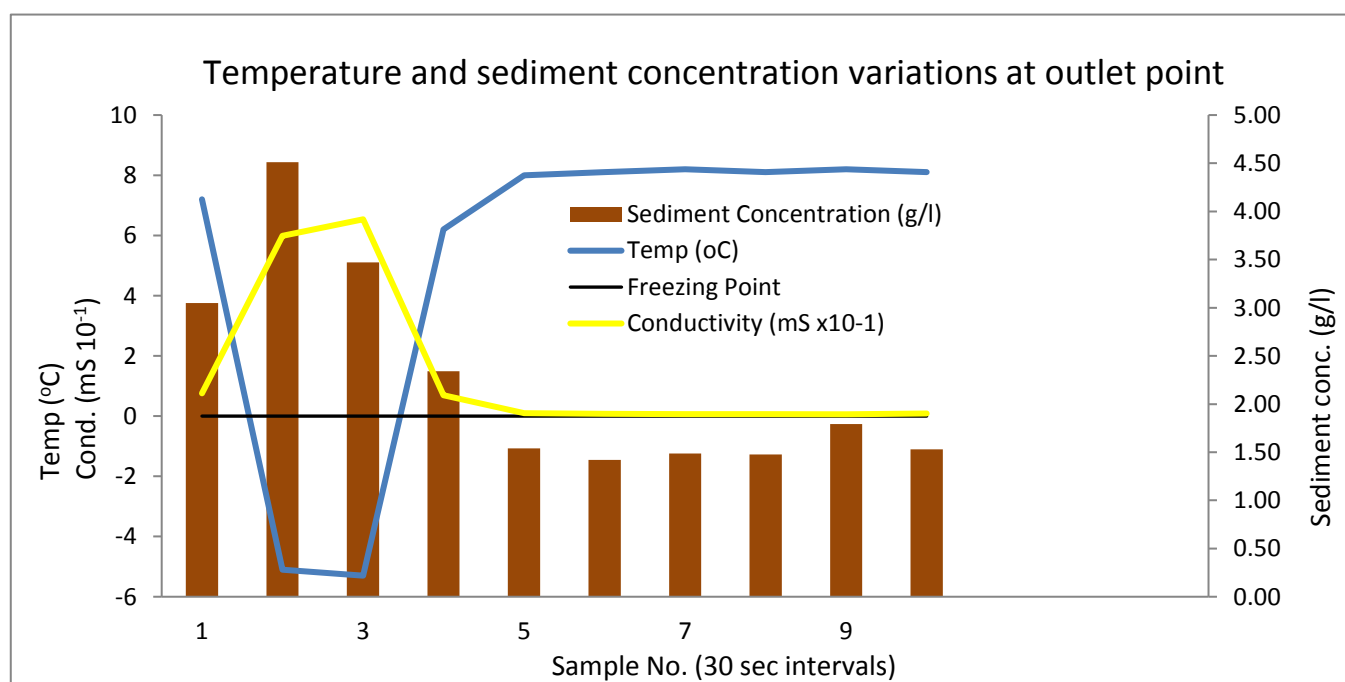


Samples collected from outlet (earliest on left)

Temperature and Sediment Data

Sample #	Time (s)	Flow Rate (l/s)	Temp (°C)	Conductivity (mS/cm)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	16.9	7.2	7.57	238.54	0.66	3.05
2	60	16.11	-5.1	59.87	241.53	0.99	4.51
3	120	16.6	-5.3	65.37	209.31	0.65	3.47
4	180	13.76	6.2	6.95	235.65	0.5	2.34
5	240	8.9	8	0.93	236.34	0.33	1.54
6	300	8.98	8.1	0.75	226.32	0.29	1.42
7	360	9.19	8.2	0.64	223.76	0.3	1.49
8	420	9.1	8.1	0.62	231.98	0.31	1.48
9	480	9.17	8.2	0.6	239.46	0.39	1.79
10	540	8.91	8.1	0.82	231.14	0.32	1.53
Sediment Removed (kg): 17.86					Sediment Removed per km (kg) 297.67		

The above values are calculated from effluent samples collected on site. The total sediment mass is calculated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period.



Ice Pigging Summary

Operation Time



36 Minutes

Volume of Sediment Removed



17.86 kg

Water Used



6.3 X Pipe Volume

Notes

- The operation was very quick, being completed in only 36 minutes.
- It is estimated that 17.9 Kg of sediment was removed during the operation, whilst this seems like a moderate value, it is very high for a pipe of only 60m in length. This sediment recovery equates to 297 Kg per km which is amongst the highest values we have seen for a PVC pipe of this diameter
- The highest peak of sediment concentration was at the start of the ice pig and levels then reduced quickly, showing that a good clean has been achieved.
- In total 11.8 m³ of water was used during the operation which is quite a high value at 6.3 total pipe volumes. This is due to extra flushing carried out after the operation to reduce the levels of turbidity being brought down from the upstream network, this is often experienced when pigging sections that are fed by uncleaned pipes.

SUEZ

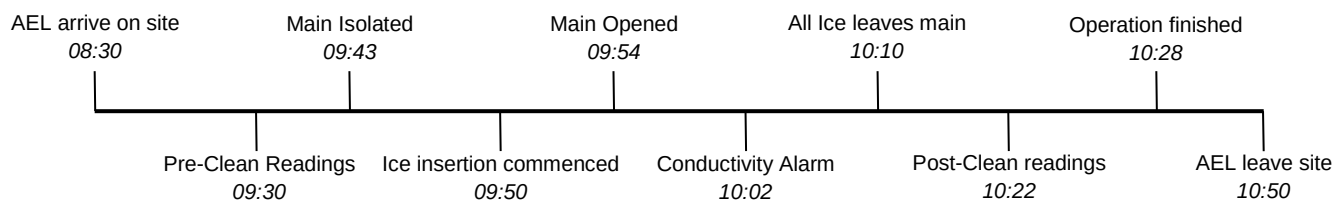
Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Operational Report

Run Details

Client:	TREFOR	Pipe Length:	144 m
Date:	25/04/2017	Pipe Diameter:	160 mm
Location:	Vejle – Denmark	Material:	PEK
Insertion Point:	Bjornkaevej	Volume of ice:	1 m ³
Discharge Point:	Bjornkaevej	Ice fraction:	85%
Usage:	Raw Water Main	Total water used:	7.2m ³

Site Procedure



Results Summary

<i>Pre and post clean</i>		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	2.4	0.4
Temperature (°C)	7.0	8.2
Pressure (BAR)	0.5	0.5
Conductivity (mS/cm)	0.52	0.63

Ambient Temp (°C)	3	Lowest Temperature Reached (°C)	-5.6	Maximum Flow Rate (l/sec)	6
-------------------	---	---------------------------------	------	---------------------------	---

Sample Photograph

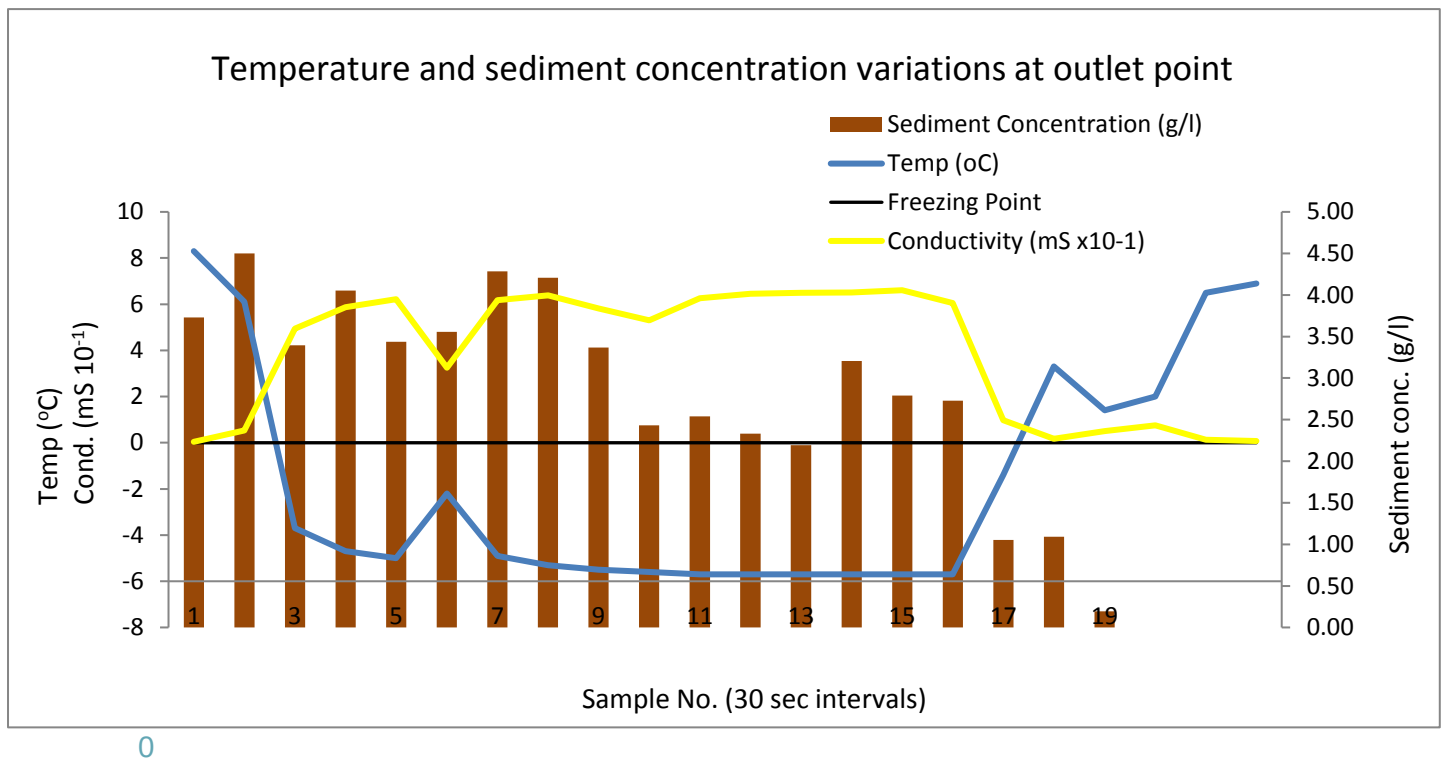


Samples collected from outlet (earliest on left)

Temperature and Sediment Data

Sample #	Time (s)	Flow Rate (l/s)	Temp (°C)	Conductivity (mS/cm)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	2.99	8.3	0.4	207.12	0.69	3.73
2	30	2.82	6.1	5.3	244.37	1	4.50
3	60	1.01	-3.7	49.41	254.74	0.79	3.40
4	90	1.36	-4.7	58.77	253.95	0.94	4.05
5	120	1.55	-5	62.2	211.2	0.65	3.44
6	150	1.63	-2.2	32.5	224.42	0.72	3.56
7	180	1.46	-4.9	61.82	232.12	0.9	4.28
8	210	1.37	-5.3	63.87	214.6	0.81	4.21
9	240	2.64	-5.5	58.09	235.97	0.72	3.37
10	270	2.78	-5.6	53.02	235.89	0.52	2.43
11	300	2.81	-5.7	62.54	250.55	0.58	2.54
12	330	2.14	-5.7	64.54	245.12	0.52	2.33
13	360	2.37	-5.7	64.9	254.61	0.51	2.19
14	390	2.53	-5.7	65.04	249.71	0.73	3.21
15	420	2.74	-5.7	66.07	222.8	0.56	2.79
16	450	5.28	-5.7	60.51	216.31	0.53	2.73
17	480	5.12	-1.4	9.76	221.18	0.21	1.05
18	510	4.42	3.3	1.66	223.71	0.22	1.09
19	540	4.05	1.4	5.11	229.59	0.04	0.19
Sediment Removed (kg): 3.90					Sediment Removed per km (kg) 27.09		

The above values are calculated from effluent samples collected on site. The total sediment mass is calculated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period.



Ice Pigging Summary

Operation Time



56 Minutes

Volume of Sediment Removed



4.61 kg

Water Used



3.8 X Pipe Volume

Notes

- It is estimated that 3.9 Kg of sediment was removed from this section, which equates to 28 Kg per km which is quite a low figure for a raw water pipe.
- Despite this, the sediment sampling shows a distinct drop in concentration whilst the ice is still leaving the pipe (after sample 9), which suggests that most of the available sediment has been removed. This is supported by the rapid drop to low turbidity once the ice had left the pipe.

SUEZ

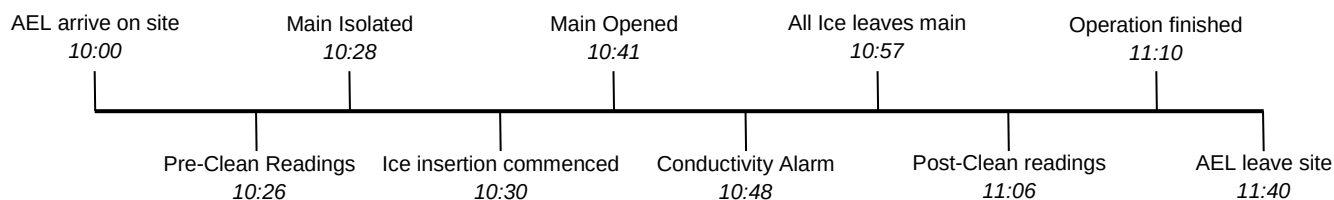
Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Operational Report

Run Details

Client:	TREFOR	Pipe Length:	350m
Date:	26/04/2017	Pipe Diameter:	160 mm
Location:	Frederica – Denmark	Material:	PVC
Insertion Point:	Venusvej	Volume of ice:	2 m ³
Discharge Point:	Venusvej	Ice fraction:	85%
Usage:	Potable Supply	Total water used:	12.2m ³

Site Procedure



Results Summary

<i>Pre and post clean</i>		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	7.4	0.7
Temperature (°C)	8.5	8.3
Pressure (BAR)	3.9	3.9
Conductivity (mS/cm)	0.58	0.58

Ambient Temp (°C)	11	Lowest Temperature Reached (°C)	-5.3	Maximum Flow Rate (l/sec)	7
-------------------	----	---------------------------------	------	---------------------------	---

Sample Photograph



Samples collected from outlet (earliest on left)

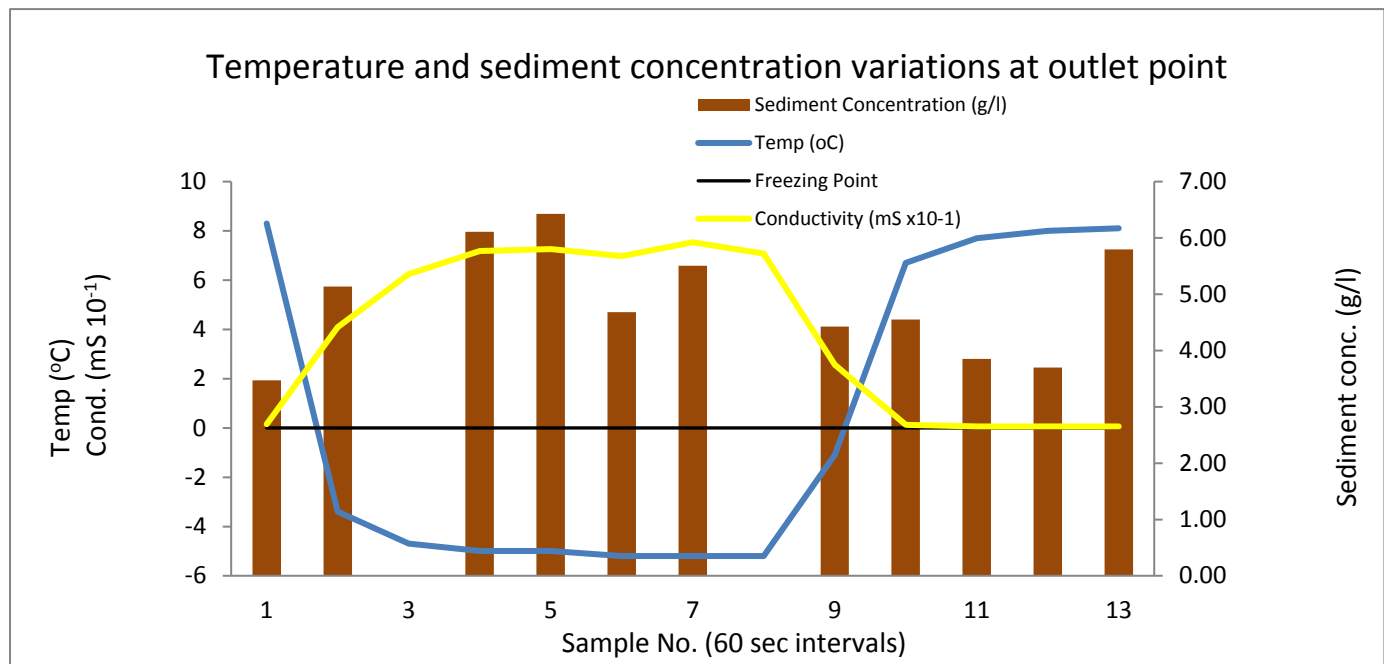
Temperature and Sediment Data

Sample #	Time (s)	Flow Rate (l/s)	Temp (°C)	Conductivity (mS/cm)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)	
1	0	6.72	8.3	1.47	208	0.63	3.47	
2	60	5.05	-3.4	40.88	226.92	1.03	5.13	
3	120	4.9	-4.7	62.51				
4	180	5.17	-5	71.89	208	1.11	6.11	
5	240	5.07	-5	72.54	208.41	1.17	6.43	
6	300	4.84	-5.2	69.73	208	0.85	4.68	
7	360	5.24	-5.2	75.37	213.48	1.03	5.50	
8	420	5.58	-5.2	70.78				
9	480	5.83	-1.1	25.73	252.28	1	4.43	
10	540	6.56	6.7	1.26	248.37	1.01	4.55	
11	600	6.59	7.7	0.67	208	0.7	3.85	
12	660	6.57	8	0.62	226.3	0.74	3.70	
13	720	6.61	8.1	0.65	235.12	1.21	5.80	
Sediment Removed (kg):					18.51	Sediment Removed per km (kg)		52.89

The above values are calculated from effluent samples collected on site. The total sediment mass is calculated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period.

Unfortunately, the crate containing samples for this operation was damaged at sea, resulting in many of the samples being partially or totally lost. This has had a highly detrimental effect on the sediment removal results.

Sample masses marked “*” have been increased to an average value to prevent the sediment grams per litre value showing as erroneously high and skewing the results. This, combined with the loss of some samples means that the overall sediment removal value is an underestimation, but it can be used as a minimum figure.



Ice Pigging Summary

Operation Time



42 minutes

Volume of Sediment Removed



>18 kg

Water Used



1.7 X Pipe Volume

Notes

- The operation was very quick, being completed in only 42 minutes.
- Unfortunately, the loss of many samples and enforced adjustments to compensate make it impossible to identify any shape in the variation of sediment concentrations.
- However, it can be said that at least 18.51Kg of sediment was removed from the pipe. This equates to 52.89 Kg per Km of pipe, which is higher than expected for a pipe of this diameter and material.
- The sharp curves for temperature and conductivity show that good ice was received at the outlet and very little melting or mixing took place.
- The rapid drop in turbidity after the ice left the pipe indicates that a good clean has been achieved.

SUEZ

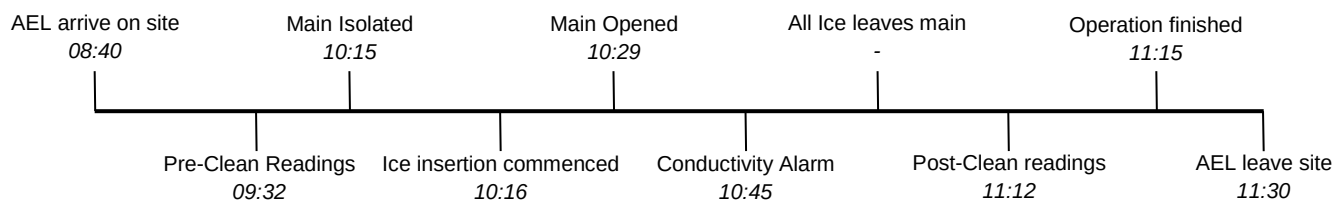
Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Operational Report

Run Details

Client:	Aarhus Vand A/S	Pipe Length:	590 m
Date:	27/04/2017	Pipe Diameter:	100 mm
Location:	Aarhus Denmark	Material:	Cast Iron
Insertion Point:	Ringkøbingvej	Volume of ice:	1.1 m ³
Discharge Point:	Rosenstein	Ice fraction:	75%
Usage:	Potable Supply	Total water used:	10.3m ³

Site Procedure



Results Summary

<i>Pre and post clean</i>		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	45	6.9
Temperature (°C)	9.6	7.6
Pressure (BAR)	3.4	3.4
Conductivity (mS/cm)	1.03	1.12

Ambient Temp (°C)	4	Lowest Temperature Reached (°C)	4.3	Maximum Flow Rate (l/sec)	4.3
-------------------	---	---------------------------------	-----	---------------------------	-----

Sample Photograph



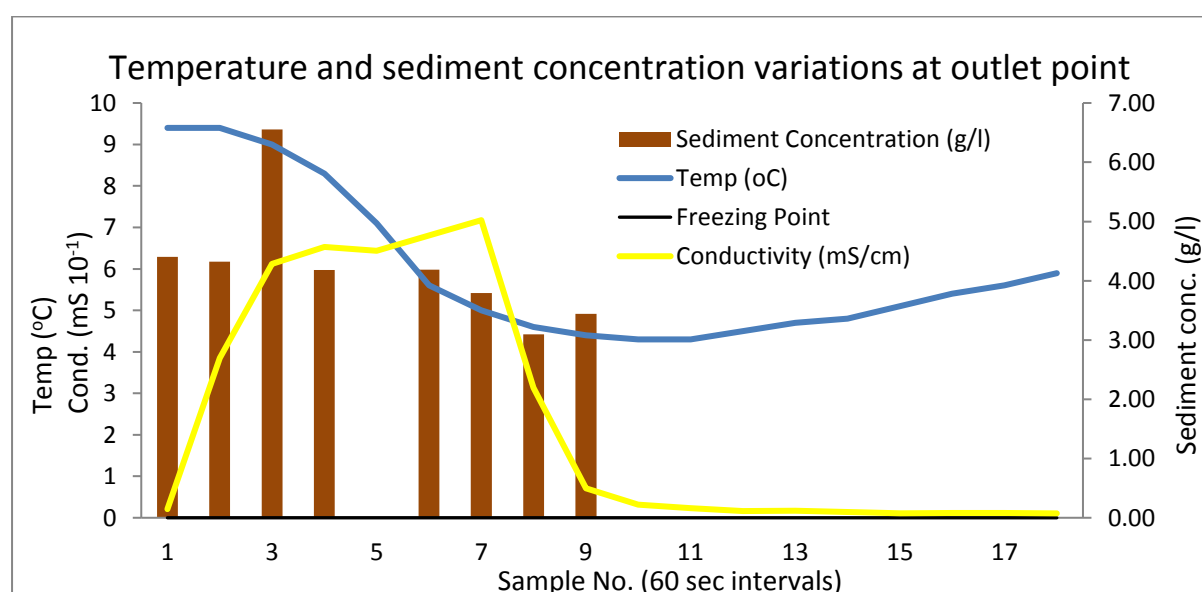
Samples collected from outlet (earliest on left)

Temperature and Sediment Data

Sample #	Time (s)	Flow Rate (l/s)	Temp (°C)	Conductivity (mS/cm)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	3.52	9.4	2.07	210.49	0.83	4.40
2	30	3.22	9.4	38.5	209.48	0.81	4.32
3	60	3.31	9	61.23	215.9	1.27	6.55
4	90	3.27	8.3	65.28	246.83	0.94	4.18
5	120	3.26	7.1	64.33			
6	150	3.34	5.6	68.08	241.83	0.92	4.19
7	180	3.32	5	71.75	214.45	0.73	3.79
8	210	3.38	4.6	31.36	238.63	0.67	3.09
9	240	3.3	4.4	7.1	228.31	0.71	3.44
Sediment Removed (kg): 3.40					Sediment Removed per km (kg) 5.75		

The above values are calculated from effluent samples collected on site. The total sediment mass is calculated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period.

Unfortunately, the crate containing samples for this operation was damaged at sea, resulting in sample #5 being lost. This has had a detrimental effect on the sediment removal results.



Ice Pigging Summary

Operation Time



58 Minutes

Sediment Removed



3.4 kg

Water Used



2.2 X Pipe Volume

Notes

- Unfortunately, no ice was seen at the outlet of this operation. The flow rate achieved was only ~3.5 litres/ second which meant the ice was in the pipe for 30 minutes, which was too long for a small volume of ice in a relatively warm cast iron pipe.
- Because the ice melted at some point along the pipe, the first part of the pipe will be clean but the later part of the pipe will not have benefitted.
- It is evident from the shape of the sediment concentration graph that a good clean was not achieved, the sediment concentrations remain at a consistently high level, without dropping as the time progresses.
- Despite only part of the pipe being cleaned, an estimated 3.4 kg of sediment which equates to 5.75 kg per km.
- In total 10 m³ of water was used during the operation. During this period the turbidity reduced from 45 NTU to 6.9 NTU.
- It would be possible to successfully ice pig this pipe by either improving the flow rate, or using a larger volume of ice to compensate for the increased time in the pipe.

SUEZ

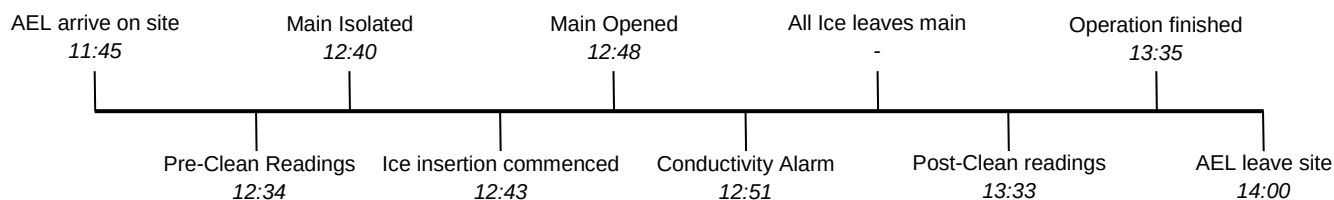
Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Operational Report

Run Details

Client:	Aarhus Vand A/S	Pipe Length:	650 m
Date:	27/04/2017	Pipe Diameter:	100/80 mm
Location:	Aarhus Denmark	Material:	Cast Iron
Insertion Point:	Lindevej	Volume of ice:	0.9 m ³
Discharge Point:	Irisvej	Ice fraction:	75%
Usage:	Potable Supply	Total water used:	10.3m ³

Site Procedure



Results Summary

<i>Pre and post clean</i>		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	12	16.4
Temperature (°C)	9	9.2
Pressure (BAR)	3.0	3.0
Conductivity (mS/cm)	1.05	1.06

Ambient Temp (°C)	6	Lowest Temperature Reached (°C)	0.4	Maximum Flow Rate (l/sec)	6.2
-------------------	---	---------------------------------	-----	---------------------------	-----

Sample Photograph

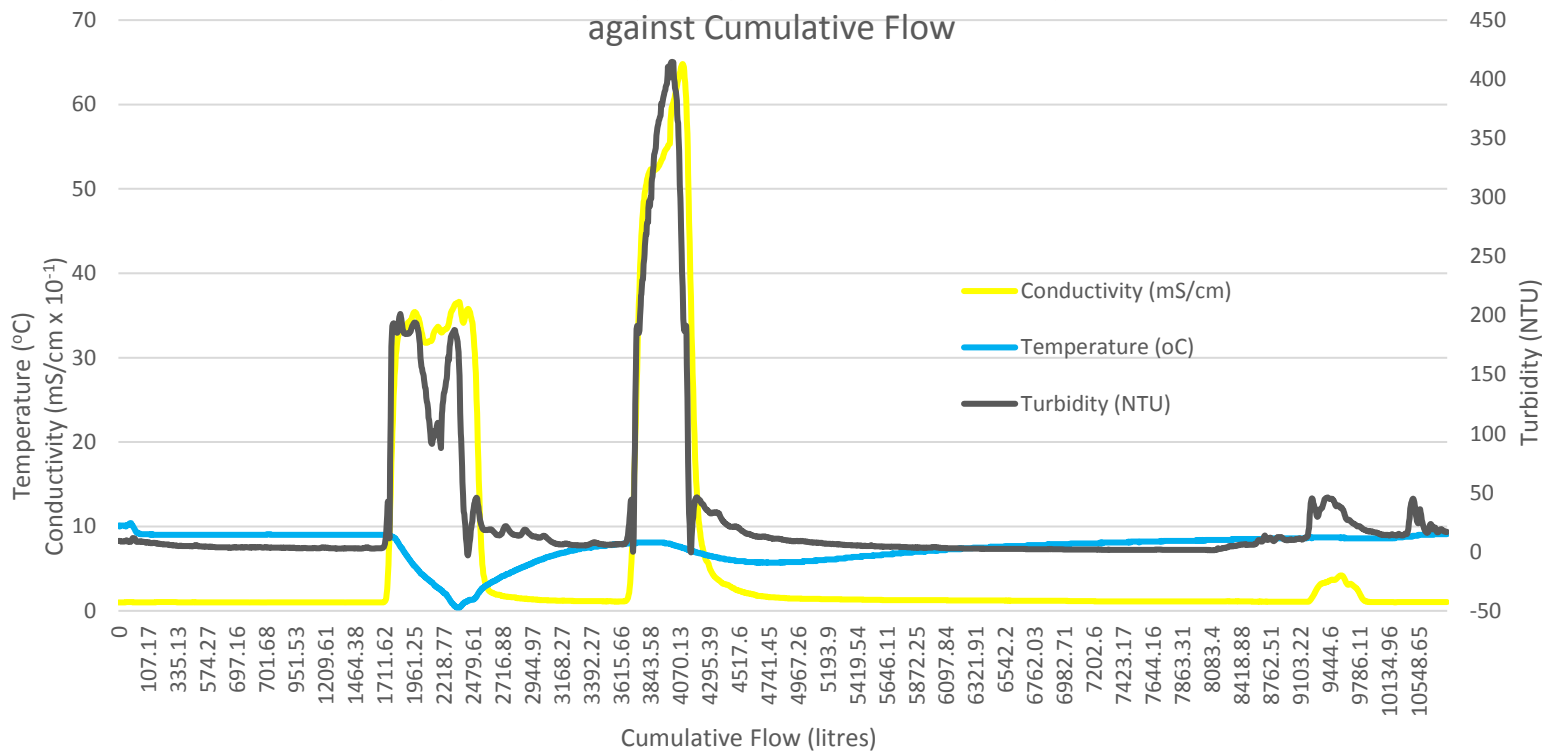


Samples collected from outlet (earliest on left)

Unfortunately, as is evident from the photograph - most of the sample bottles for this operation were broken during the sea crossing, leaving an insufficient number for any meaningful sediment analysis.

Temperature and Sediment Data

FAS Data showing Conductivity, Temperature and Turbidity variations at outlet against Cumulative Flow



Notes

- During this operation, two distinct conductivity and turbidity peaks were observed at the outlet, as shown in the graph above. Because they are so well defined and separate, it seems most probable that there was an open cross connection or unknown pipe which provided a short circuit for the ice to arrive at the outlet. Consequently, the volume of ice was split into two smaller pigs which melted as they were of insufficient volume for a cast iron pipe.
- This alternative route must have started and finished between the upstream and downstream isolation valves or it would have been noticed during the isolation test.
- To successfully ice pig this pipe, the alternative route must be located and closed off.
- Towards the end of the graph there are some small increases in turbidity and conductivity which is indicative of a small amount of effluent that has entered a small service pipe or side valve. This shows the importance of giving a short flush of other pipes in the network.



SUEZ

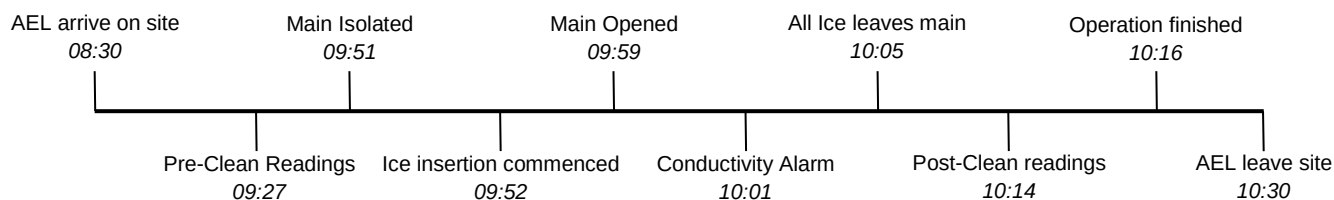
Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Operational Report

Run Details

Client:	Aarhus Vand A/S	Pipe Length:	650 m
Date:	28/04/2017	Pipe Diameter:	110 mm
Location:	Aarhus Denmark	Material:	PVC
Insertion Point:	Esgagervej	Volume of ice:	1.2 m ³
Discharge Point:	Vester Sogardsvej	Ice fraction:	85%
Usage:	Potable Supply	Total water used:	18.1m ³

Site Procedure



Results Summary

<i>Pre and post clean</i>		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	39	9
Temperature (°C)	10.4	10.5
Pressure (BAR)	4.0	4.0
Conductivity (mS/cm)	0.96	1.0

Ambient Temp (°C)	8	Lowest Temperature Reached (°C)	-4.5	Maximum Flow Rate (l/sec)	11.5
-------------------	---	---------------------------------	------	---------------------------	------

Sample Photograph

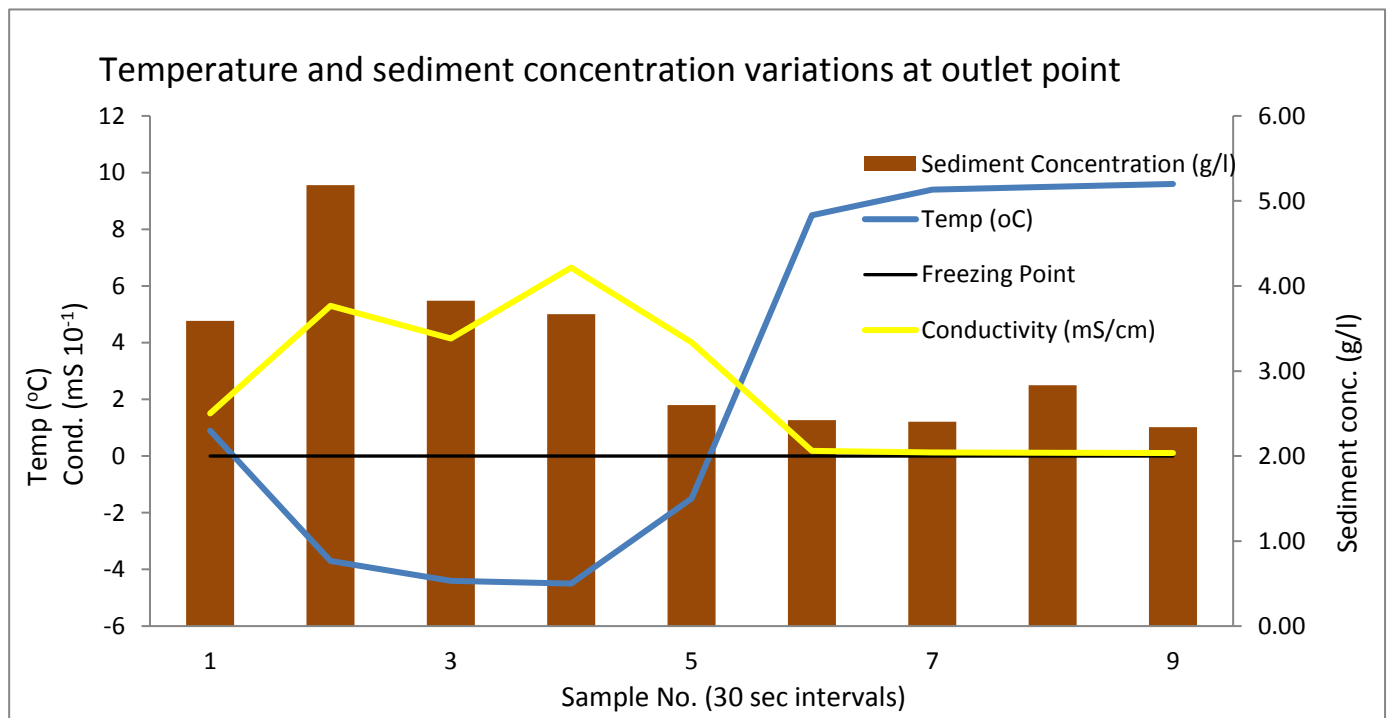


Samples collected from outlet (earliest on left)

Temperature and Sediment Data

Sample #	Time (s)	Flow Rate (l/s)	Temp (°C)	Conductivity (mS/cm)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	10.39	0.9	15.07	239.36	0.78	3.59
2	30	9.84	-3.7	53.01	226.5	1.06	5.18
3	60	10.01	-4.4	41.46	233.74	0.81	3.83
4	90	9.94	-4.5	66.47	240.14	0.8	3.67
5	120	10.62	-1.5	40.17	256.79	0.61	2.60
6	150	11.22	8.5	1.82	249.19	0.55	2.42
7	180	11.23	9.4	1.31	250.71	0.55	2.41
8	210	11.25	9.5	1.12	230.27	0.59	2.83
9	240	11.36	9.6	1.07	239.95	0.51	2.34
Sediment Removed (kg): 9.10					Sediment Removed per km (kg) 14.00		

The above values are calculated from effluent samples collected on site. The total sediment mass is calculated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period.



Ice Pigging Summary

Operation Time



25 Minutes

Sediment Removed



9.10 kg

Water Used



2.9 X Pipe Volume

Notes

- This operation was very quick, taking 25 minutes from the main being isolated until the operation was complete.
- In total 9.1kg of sediment was removed from this pipe, which equates to 14 kg per km which is within the expected range for this diameter and pipe material.
- The sediment samples show the expected curve of peaking when the ice arrives and then tapering back to background levels. The background turbidity levels were high on this operation; it would appear that this originates from the uncleaned sections upstream. Were the upstream network clean, we would expect the turbidity to drop to a very low level very soon after the ice has left the pipe.
- It is evident that a good clean has been achieved on this pipe.
- In total 18 m³ of water was used during the operation, this is higher than expected due to the extra flushing required to reduce the turbidity from upstream.

SUEZ

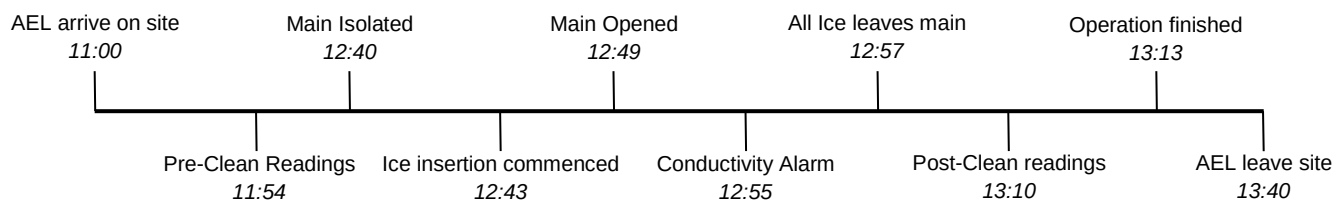
Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Operational Report

Run Details

Client:	Aarhus Vand A/S	Pipe Length:	756 m
Date:	28/04/2017	Pipe Diameter:	90 mm
Location:	Aarhus Denmark	Material:	PVC
Insertion Point:	Kronborgvej	Volume of ice:	0.9 m ³
Discharge Point:	Todderupparken	Ice fraction:	85%
Usage:	Potable Supply	Total water used:	11.7m ³

Site Procedure



Results Summary

<i>Pre and post clean</i>		
Parameter:	Pre-Clean	Post-Clean
Turbidity (NTU)	11	0.7
Temperature (°C)	9.3	8.6
Pressure (BAR)	2.8	2.8
Conductivity (mS/cm)	0.67	0.67

Ambient Temp (°C)	8	Lowest Temperature Reached (°C)	-4.3	Maximum Flow Rate (l/sec)	10.3
-------------------	---	---------------------------------	------	---------------------------	------

Sample Photograph

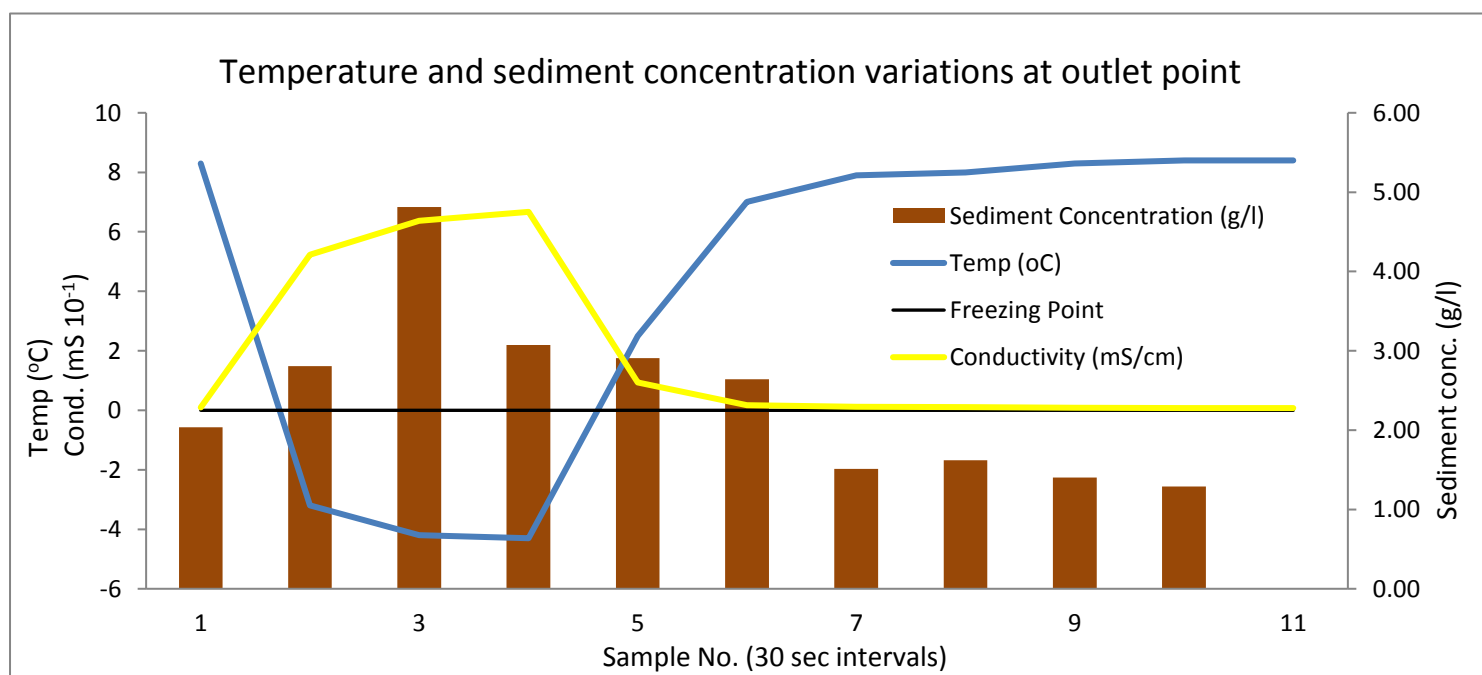


Samples collected from outlet (earliest on left)

Temperature and Sediment Data

Sample #	Time (s)	Flow Rate (l/s)	Temp (°C)	Conductivity (mS/cm)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	8.11	8.3	0.95	223.43	0.41	2.04
2	30	7.8	-3.2	52.33	214.5	0.54	2.81
3	60	7.82	-4.2	63.66	250.6	1.1	4.81
4	90	7.78	-4.3	66.71	249.87	0.7	3.07
5	120	8.22	2.5	9.35	249.06	0.66	2.91
6	150	8.3	7	1.68	249.1	0.6	2.64
7	180	8.21	7.9	1.22	240.66	0.33	1.51
8	210	8.29	8	1.09	244.19	0.36	1.62
9	240	8.29	8.3	0.82	250.03	0.32	1.40
10	270	8.49	8.4	0.78	247.19	0.29	1.29
Sediment Removed (kg): 5.83					Sediment Removed per km (kg) 8.96		

The above values are calculated from effluent samples collected on site. The total sediment mass is calculated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period.



Ice Pigging Summary

Operation Time



33 Minutes

Sediment Removed



5.83 kg

Water Used



2.4 X Pipe Volume

Notes

- In total, the operation took 33 minutes from the isolation to completion.
- In total 5.83 kg of sediment was removed from this pipe, which equates to 8.96 kg per km which is within the expected range for this diameter and material.
- The sediment samples and photograph shows that the sediment peak arrived with the start of the ice, and then reduced rapidly to a very low level showing that a good clean has been achieved.
- Over the course of the operation, the turbidity was reduced from 11 NTU to 0.7 NTU.
- In total 2.4 pipe volumes of water was used during the operation.

SUEZ

Suez Advanced Solutions UK Ltd Tel: +44 (0)1454 804040 - www.ice-pigging.com
Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775

Bilag 3. Oversigt over analyserapporter fra Eurofins (metaller og bakterier)

Bilag 3.1	Ullerupdalsvej
Bilag 3.2	Bjoernkærvej
Bilag 3.3	Venusvej
Bilag 3.4	Ringkøbingvej
Bilag 3.5	Lindevej
Bilag 3.6	Egsagervej
Bilag 3.7	Soebakkevej

TREFOR Vand A/S
Kokbjerg 30
6000 Kolding
Att.: Anne Bjerrum Juhl
Rapportnr.: AR-17-CA-00536562-01
Batchnr.: EUDKVE-00536562
Kundenr.: CA0000470
Modt. dato: 24.04.2017

Analyserapport

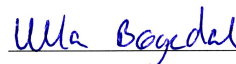
Prøvested: ICE PIGGING distributionsledning - / 4631000158
Udtagningsadresse: Ullerupdalvej
Prøvetype: Drikkevand - Andet
Prøveudtagning: 24.04.2017 kl. 11:54
Prøvetager: Rekvirenten SELA
Analyseperiode: 24.04.2017 - 01.05.2017

Prøvemærke: ICE - Ullerupdalvej - lige før is						
Lab prøvenr:	80448305	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode
			Min.	Max.		
Konduktivitet (Ledningsevne)	49	mS/m			0.1	DS/EN 27888
Turbiditet	86	! FTU		1	0.05	DS/EN ISO 7027
Mikrobiologi						
Coliforme bakterier 37°C	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray
Escherichia coli	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray
Kimtal ved 22°C	240	! CFU/ml		200	1	ISO 6222:1999
Kimtal ved 37°C	25	! CFU/ml		20	1	ISO 6222:1999
Metaller						
Jern (Fe)	23	! mg/l		0.2	0.01	SM 3120 ICP-OES
Oplysninger fra rekvirent						
Akkrediteret prøvetagning	Nej					*

Resultater mærket **!** overholder ikke kravværdierne i Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.
Vurdering af resultater jf. Bek. 802 er vejledende, da prøvetagningen ikke er udført akkrediteret.

01.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk


Ulla Bøgedal
Kunderådgiver

Tegnforklaring:

<: mindre end
>: større end

#: ingen parametre er påvist
DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen
i.p.: ikke påvist
i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^o): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

TREFOR Vand A/S
Kokbjerg 30
6000 Kolding
Att.: Anne Bjerrum Juhl

Rapportnr.: AR-17-CA-00537157-01
Batchnr.: EUDKVE-00537157
Kundenr.: CA0000470
Modt. dato: 25.04.2017

Analyserapport

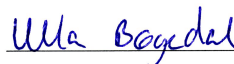
Prøvested: ICE PIGGING råvandsledning - / 4631000159
Prøvetype: Råvand - Andet
Prøveudtagning: 25.04.2017
Prøvetager: Rekvirenten SELA
Analyseperiode: 25.04.2017 - 02.05.2017

Prøvemærke: ICE - Bjørnkærvej - Under 3

Lab prøvenr:	80448296	Enhed	Kravværdier		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			
Inddampningsrest	21000	mg/l			10	DS 204	12
Turbiditet	210	FTU			0.05	DS/EN ISO 7027	15
Mikrobiologi							
Coliforme bakterier 37°C	< 1	MPN/100 ml			1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Escherichia coli	< 1	MPN/100 ml			1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Kimtal ved 22°C	> 3000	CFU/ml			1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Kimtal ved 37°C	310	CFU/ml			1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Uorganiske forbindelser							
Ammonium	0.22	mg/l			0.005	SM 17. udg. 4500-NH3 (H)	10
Organiske samleparametre							
NVOC, ikke flygt.org.carbon	7.5	mg/l			0.1	DS/EN 1484	12
Metaller							
Aluminium (Al)	44	µg/l			30	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Arsen (As)	80	µg/l			0.3	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Calcium (Ca)	95	mg/l			0.5	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Jern (Fe)	52	mg/l			0.05	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Mangan (Mn)	0.25	mg/l			0.005	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Oplysninger fra rekvirent							
Akkrediteret prøvetagning	Nej					*	

02.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk


Ulla Bøgedal
Kunderådgiver

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^{o)}: Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Side 1 af 1

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

TREFOR Vand A/S
Kokbjerg 30
6000 Kolding
Att.: Anne Bjerrum Juhl
Rapportnr.: AR-17-CA-00537633-01
Batchnr.: EUDKVE-00537633
Kundenr.: CA0000470
Modt. dato: 26.04.2017

Analyserapport

Prøvested: ICE PIGGING distributionsledning - / 4631000158
Prøvetype: Drikkevand - Andet
Prøveudtagning: 26.04.2017
Prøvetager: Rekvirenten ANJU
Analyseperiode: 26.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: ICE - Venusvej - under 3

Lab prøvenr:	80448281	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			
Inddampningsrest	37000	!	mg/l	1500	10	DS 204	12
Konduktivitet (Ledningsevne)	5700		mS/m		0.1	DS/EN 27888	10
Turbiditet	870	!	FTU	1	0.05	DS/EN ISO 7027	15
Mikrobiologi							
Coliforme bakterier 37°C	< 1		MPN/100 ml	i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Escherichia coli	< 1		MPN/100 ml	i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Kimtal ved 22°C	71		CFU/ml	200	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Kimtal ved 37°C	< 1		CFU/ml	20	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Uorganiske forbindelser							
Ammonium	0.023		mg/l	0.05	0.005	SM 17. udg. 4500-NH3 (H)	10
Organiske samleparametre							
NVOC, ikke flygt.org.carbon	40	!	mg/l	4	0.1	DS/EN 1484	12
Metaller							
Aluminium (Al)	4300		µg/l		30	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Arsen (As)	530		µg/l		0.3	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Calcium (Ca)	160		mg/l		0.5	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Jern (Fe)	510		mg/l		0.05	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Mangan (Mn)	150		mg/l		0.005	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30

Oplysninger fra rekvirent

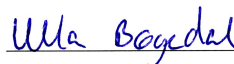
Akkrediteret prøvetagning Nej

Resultater mærket ! overholder ikke kravværdierne i Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Vurdering af resultater jf. Bek. 802 er vejledende, da prøvetagningen ikke er udført akkrediteret.

04.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk


Ulla Bøgedal
Kunderådgiver

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^{o)}: Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Aarhus Vand A/S
Gunnar Clausens Vej 34
8260 Viby J
Att.: Vandkvalitetsgruppen (VAA)

Rapportnr.: AR-17-CA-00537999-01
Batchnr.: EUDKVE-00537999
Kundenr.: CA0000035
Modt. dato: 27.04.2017

Analyserapport

Prøvested: Århus Vand. Intern prøve - V01959900 / 4751009599
Prøvetype: Andet rent vand - Mikrobiologisk kontrol
Prøveudtagning: 27.04.2017 kl. 11:15
Prøvetager: Rekvirenten TJE
Analyseperiode: 27.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: Brandstander Silkeborgvej 44

Lab prøvenr:	80363059	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			
Inddampningsrest	13000	! mg/l		1500	10	DS 204	12
Konduktivitet (Ledningsevne)	2100	mS/m			0.1	DS/EN 27888	10
Turbiditet	360	! FTU		1	0.05	* DS/EN ISO 7027	15
Mikrobiologi							
Coliforme bakterier 37°C	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Escherichia coli	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Kimtal ved 22°C	62	CFU/ml		200	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Kimtal ved 37°C	3	CFU/ml		20	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Organiske samleparametre							
NVOC, ikke flygt.org.carbon	3.5	mg/l		4	0.1	DS/EN 1484	12
TOC, totalt organisk kulstof	3.5	mg/l				DS/EN 1484 Beregning	32
VOC, flygtigt org. kulstof	< 0.5	mg/l			0.5	DS/EN 1484	20
Metaller							
Aluminium (Al)	98	µg/l			30	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Arsen (As)	170	µg/l			0.3	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Calcium (Ca)	84	mg/l			0.5	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Jern (Fe)	160	mg/l			0.05	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Mangan (Mn)	13	mg/l			0.005	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30

Oplysninger fra rekvirent

Akkrediteret prøvetagning Ja *

Resultater mærket ! overholder ikke kravværdierne i Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Ledningsevne er ikke omfattet af akkrediteringen, da analysen ikke er foretaget som feltmåling.

Prøvetagningen er udført akkrediteret af Aarhus Vand TEST reg. nr. 509. Anvendte prøvetagningsmetoder "Drikkevand, Manual for prøvetagning (Naturstyrelsens Referencelaboratorium, 2015)" samt Aarhus Vands "Procedure 1010 Prøvetagning". Måling af vandtemperatur og flow er ikke akkrediteret.

Kopi til:

Aarhus Vand A/S , Karina V. Jensen, Gunnar Clausens Vej 34, 8260 Viby J.

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^{o)}: Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Aarhus Vand A/S
Gunnar Clausens Vej 34
8260 Viby J
Att.: Vandkvalitetsgruppen (VAA)Rapportnr.: AR-17-CA-00537999-01
Batchnr.: EUDKVE-00537999
Kundenr.: CA0000035
Modt. dato: 27.04.2017

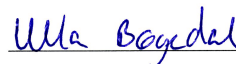
Analyserapport

Prøvested: Århus Vand. Intern prøve - V01959900 / 4751009599
Prøvetype: Andet rent vand - Mikrobiologisk kontrol
Prøveudtagning: 27.04.2017 kl. 11:15
Prøvetager: Rekvirenten TJE
Analyseperiode: 27.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: Brandstander Silkeborgvej 44

Lab prøvenr:	80363059	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			

04.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk
Ulla Bøgedal
Kunderådgiver**Tegnforklaring:**

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

°): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Aarhus Vand A/S
Gunnar Clausens Vej 34
8260 Viby J
Att.: Vandkvalitetsgruppen (VAA)

Rapportnr.: AR-17-CA-00538002-01
Batchnr.: EUDKVE-00538002
Kundenr.: CA0000035
Modt. dato: 27.04.2017

Analyserapport

Prøvested: Århus Vand. Intern prøve - V01959900 / 4751009599
Prøvetype: Andet rent vand - Andet
Prøveudtagning: 27.04.2017 kl. 13:01
Prøvetager: Rekvirenten TJE
Analyseperiode: 27.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: Brandstander Irisvej 9

Lab prøvenr:	80363058	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			
Inddampningsrest	20000	!	mg/l	1500	10	DS 204	12
Konduktivitet (Ledningsevne)	3300		mS/m		0.1	DS/EN 27888	10
Turbiditet	260	!	FTU	1	0.05	* DS/EN ISO 7027	15
Mikrobiologi							
Coliforme bakterier 37°C	< 1		MPN/100 ml	i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Escherichia coli	< 1		MPN/100 ml	i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Kimtal ved 22°C	780	!	CFU/ml	200	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Kimtal ved 37°C	5		CFU/ml	20	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Organiske samleparametre							
NVOC, ikke flygt.org.carbon	4.6	!	mg/l	4	0.1	DS/EN 1484	12
TOC, totalt organisk kulstof	4.6		mg/l			DS/EN 1484 Beregning	32
VOC, flygtigt org. kulstof	< 0.5		mg/l		0.5	DS/EN 1484	20
Metaller							
Aluminium (Al)	95		µg/l		30	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Arsen (As)	110		µg/l		0.3	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Calcium (Ca)	100		mg/l		0.5	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Jern (Fe)	56		mg/l		0.05	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Mangan (Mn)	10		mg/l		0.005	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30

Oplysninger fra rekvirent

Akkrediteret prøvetagning Ja *

Resultater mærket ! overholder ikke kravværdierne i Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Ledningsevne er ikke omfattet af akkrediteringen, da analysen ikke er foretaget som feltmåling.

Prøvetagningen er udført akkrediteret af Aarhus Vand TEST reg. nr. 509. Anvendte prøvetagningsmetoder "Drikkevand, Manual for prøvetagning (Naturstyrelsens Referencelaboratorium, 2015)" samt Aarhus Vands "Procedure 1010 Prøvetagning". Måling af vandtemperatur og flow er ikke akkrediteret.

Kopi til:

Aarhus Vand A/S, Karina V. Jensen, Gunnar Clausens Vej 34, 8260 Viby J.

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^{o)}: Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Aarhus Vand A/S
Gunnar Clausens Vej 34
8260 Viby J
Att.: Vandkvalitetsgruppen (VAA)

Rapportnr.: AR-17-CA-00538002-01
Batchnr.: EUDKVE-00538002
Kundenr.: CA0000035
Modt. dato: 27.04.2017

Analyserapport

Prøvested: Århus Vand. Intern prøve - V01959900 / 4751009599
Prøvetype: Andet rent vand - Andet
Prøveudtagning: 27.04.2017 kl. 13:01
Prøvetager: Rekvirenten TJE
Analyseperiode: 27.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: Brandstander Irisvej 9

Lab prøvenr:	80363058	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			

04.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk

Ulla Bøgedal
Ulla Bøgedal
Kunderådgiver

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

°): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Aarhus Vand A/S
Gunnar Clausens Vej 34
8260 Viby J
Att.: Vandkvalitetsgruppen (VAA)

Rapportnr.: AR-17-CA-00538313-01
Batchnr.: EUDKVE-00538313
Kundenr.: CA0000035
Modt. dato: 28.04.2017

Analyserapport

Prøvested: Århus Vand. Intern prøve - V01959900 / 4751009599
Prøvetype: Andet rent vand - Andet
Prøveudtagning: 28.04.2017 kl. 10:05
Prøvetager: Rekvirenten KVJ
Analyseperiode: 28.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: Vestersogardsvejød

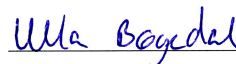
Lab prøvenr:	80023858	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			
Inddampningsrest	44000	! mg/l		1500	10	DS 204	12
Konduktivitet (Ledningsevne)	6700	mS/m			0.1	DS/EN 27888	10
Turbiditet	130	! FTU		1	0.05	* DS/EN ISO 7027	15
Mikrobiologi							
Coliforme bakterier 37°C	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Escherichia coli	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Kimtal ved 22°C	25	CFU/ml		200	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Kimtal ved 37°C	1	CFU/ml		20	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Organiske samleparametre							
NVOC, ikke flygt.org.carbon	7.1	! mg/l		4	0.1	DS/EN 1484	12
TOC, totalt organisk kulstof	7.1	mg/l				DS/EN 1484 Beregning	32
VOC, flygtigt org. kulstof	< 0.5	mg/l			0.5	DS/EN 1484	20
Metaller							
Aluminium (Al)	1600	µg/l			30	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Arsen (As)	570	µg/l			0.3	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Calcium (Ca)	140	mg/l			0.5	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Jern (Fe)	230	mg/l			0.05	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Mangan (Mn)	160	mg/l			0.005	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30

Oplysninger fra rekvirent

Akkrediteret prøvetagning Nej

04.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk


Ulla Bøgedal
Kunderådgiver

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^{o)}: Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Aarhus Vand A/S
Gunnar Clausens Vej 34
8260 Viby J
Att.: Vandkvalitetsgruppen (VAA)

Rapportnr.: AR-17-CA-00538337-01
Batchnr.: EUDKVE-00538337
Kundenr.: CA0000035
Modt. dato: 28.04.2017

Analyserapport

Prøvested: Århus Vand. Intern prøve - V01959900 / 4751009599
Prøvetype: Andet rent vand - Andet
Prøveudtagning: 28.04.2017 kl. 13:00
Prøvetager: Rekvirenten KVJ
Analyseperiode: 28.04.2017 - 04.05.2017

Prøvemærke: Todderupparken

Lab prøvenr:	80023857	Enhed	Kravværdier **		DL.	Metode	Um (%)
			Min.	Max.			
Inddampningsrest	46000	! mg/l		1500	10	DS 204	12
Konduktivitet (Ledningsevne)	7400	mS/m			0.1	DS/EN 27888	10
Turbiditet	320	! FTU		1	0.05	* DS/EN ISO 7027	15
Mikrobiologi							
Coliforme bakterier 37°C	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Escherichia coli	< 1	MPN/100 ml		i.m.	1	Colilert Quanti Tray	0.25 ^{o)}
Kimtal ved 22°C	16	CFU/ml		200	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Kimtal ved 37°C	1	CFU/ml		20	1	ISO 6222:1999	0.15 ^{o)}
Organiske samleparametre							
NVOC, ikke flygt.org.carbon	7.7	! mg/l		4	0.1	DS/EN 1484	12
TOC, totalt organisk kulstof	7.7	mg/l				DS/EN 1484 Beregning	32
VOC, flygtigt org. kulstof	< 0.5	mg/l			0.5	DS/EN 1484	20
Metaller							
Aluminium (Al)	7100	µg/l			30	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Arsen (As)	1100	µg/l			0.3	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Calcium (Ca)	200	mg/l			0.5	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Jern (Fe)	760	mg/l			0.05	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30
Mangan (Mn)	460	mg/l			0.005	DS/EN ISO 17294m:2016 ICP-MS	30

Oplysninger fra rekvirent

Akkrediteret prøvetagning Nej

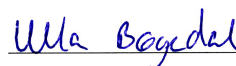
Resultater mærket ! overholder ikke kravværdierne i Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Ledningsevne er ikke omfattet af akkrediteringen, da analysen ikke er foretaget som feltmåling.

Vurdering af resultater jf. Bek. 802 er vejledende, da prøvetagningen ikke er udført akkrediteret.

04.05.2017

Kundecenter
Tlf: 70224256
Rentvand@eurofins.dk


Ulla Bøgedal
Kunderådgiver

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL.: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

Um (%): Den ekspanderede måleusikkerhed Um er lig 2 x RSD%, se i øvrigt www.eurofins.dk, søgeord: Måleusikkerhed.

^{o)}: Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

**): Miljø- og Fødevareministeriets bek.nr. 802 af 1. juni 2016.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Bilag 4. Oversigt over DNA Sense resultater

CP177B Microbial community analysis [VIA]

Mads Albertsen, DNASense ApS

13-06-2017, Aalborg, Denmark

Project scope

This project concerns the analysis of microbial communities in samples from **Loren Ramsay** at **VIA Byggeri, Energi og Miljø**. DNASense ApS recieved a total of 21 samples the 9th of May 2017.

The project included DNA extraction, qPCR with broad range bacterial primers, amplicon sequencing using V3-4 16S rRNA primers, bioinformatic analysis and a small report.

Methods

The general workflow, from raw sample to a final report is outlined in the figure below. First (1), the incoming samples are registered in the laboratory and DNA is extracted from all bacteria in the sample. Afterwards (2), the extracted DNA is taken through a complex molecular process, which ends with DNA sequencing on state-of-the-art equipment at Aalborg University. The bacterial DNA have specific “fingerprints”, that can be used to identify them. The fingerprints can be matched with a database of bacteria and thereby all bacteria in the sample can be identified (3).

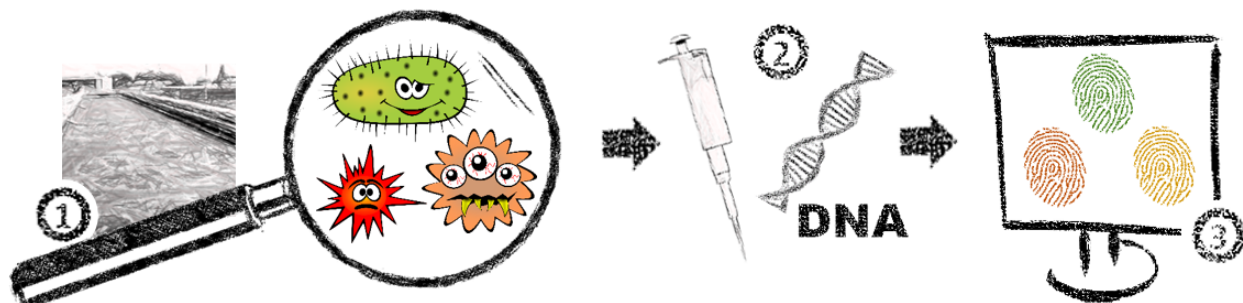


Figure 1: workflow

DNA sequencing is used to count the number of fingerprints from each bacteria in the sample, which is then used as an estimate of the abundance of the bacterial species.

Sample preparation and DNA sequencing were conducted in agreement with the latest research standards for activated sludge (www.midasfieldguide.org). The raw sequencing data was processed using the research standard [UPARSE workflow](#) and data analysed through Rstudio using the [ampvis package](#) developed at Aalborg University. A key to successful analysis is the use of the [MiDAS taxonomy](#) which introduces a common way of naming the species found in activated sludge.

The abundances of the species presented in the analysis represent the count of each bacterial 16S rRNA gene in the sample. The abundance is influenced by copy number, primer bias and DNA extraction bias and does not necessarily represent the true in situ abundance.

Results

DNA extraction, library preparation and DNA sequencing

DNA extraction, V3-4 amplicon library preparation and sequencing was successful for all 15 of 21 samples (see **Table 1**). Five of the six failed samples also had qPCR counts below the detection limit, which might explain the un-successful amplicon PCR. However, initial tests also indicated some PCR inhibition and further optimization of the library preparation process might enable successful sequencing. All other samples yielded over 10000 reads after QC and bioinformatic processing, which is plenty, for indepth analysis. This is also evident from the rarefaction curve (**Figure 1**), which show that the diversity of the samples have been extensively covered at the given sequencing depth (note the difference in scales on the axis). The negative and positive controls worked as expected.

Overall similarity of the microbial communities

In **Figure 2** we have used multivariate statistics (PCA) to compare the overall microbial composition in all samples. Samples located close to each other have similar microbial composition. It can be seen that there is clear clustering of the samples, which indicate samples with similar microbial communities.

The most abundant bacterial genera

In **Table 2** the 25 most abundant bacterial genera are shown. It can be seen that there are clear patterns in the data, which support the PCA analysis (**Figure 2**). Furthermore, in **Table 3-5** we have made specific tables for each sample type.

Data availability

The data is available in excel format [otutable.xlsx] in the folder **CP177B** with the password **CP177B**. The folder also contain the associated OTU DNA sequences [otus.fa] and the report.

Table 1: Sample overview and qPCR results

Information about sample characteristics. **Sample** was the name of the sample tubes. **SeqID** is the name of the raw sequencing data. **Ext. DNA** is the concentration after DNA extraction. **Lib. DNA** is the concentration of the sequencing library. **qPCR** is the number of 16S rRNA copies pr. ul. **Reads** is the number of reads after sequencing, QC and bioinformatic processing.

SeqID	Project	Name	qPCR [copies/ul]	Extraction Conc. [ng/ul]	Library Conc. [ng/ul]	Reads
16SAMP-17624	CP177	Bjørnkærvej, Vejle (3)	7.62E+07	135	< 2.0	13255
16SAMP-17625	CP177	Venusvej, Fredericia (18)	Below Detection	3.6	< 2.0	14
16SAMP-17626	CP177	Ringkøbingvej, Aarhus (21)	2.63E+06	17.4	< 2.0	20616
16SAMP-17627	CP177	Lindevej, Aarhus (25)	7.04E+06	63.4	< 2.0	17887
16SAMP-17628	CP177	Egsagervej, Aarhus (28)	Below Detection	4.4	< 2.0	61
16SAMP-17629	CP177	Søbakkevej, Aarhus (31)	Below Detection	< 2.0	< 2.0	939
16SAMP-17630	CP177	Lysholt Testrig G1 (1) Opg	1.07E+06	12.3	2.1	14617
16SAMP-17631	CP177	Lysholt Testrig G2 (2) Opg	1.28E+06	15.3	3.4	34156
16SAMP-17632	CP177	Lysholt Testrig G3 (3) Opg	1.56E+06	26.8	< 2.0	27182
16SAMP-17633	CP177	Lysholt Testrig G1 (1) Før	4.51E+06	25.8	< 2.0	14902
16SAMP-17634	CP177	Lysholt Testrig G2 (2) Før	4.69E+06	42	2.2	15825
16SAMP-17635	CP177	Lysholt Testrig G3 (3) Før	3.97E+06	29.4	< 2.0	14762
16SAMP-17636	CP177	Lysholt Testrig PE50mm Før	7.14E+05	2	2.9	27730
16SAMP-17637	CP177	Lysholt Testrig G1 (1) Efter	1.76E+05	< 2.0	2.7	22347
16SAMP-17638	CP177	Lysholt Testrig G2 (2) Efter	2.37E+05	< 2.0	3.1	28874
16SAMP-17639	CP177	Lysholt Testrig G3 (3) Efter	3.21E+05	< 2.0	3.8	1
16SAMP-17640	CP177	Lysholt Testrig PE50mm Efter	1.47E+05	< 2.0	< 2.0	15408
16SAMP-17641	CP177	Lysholt Testrig PE50mm ud HPC22	Below Detection	3.1	< 2.0	25
16SAMP-17642	CP177	Lysholt Testrig PE50mm ud HPC37	Below Detection	< 2.0	< 2.0	388
16SAMP-17643	CP177	Lysholt Testrig PE50mm ud HPC37	Below Detection	16.2	< 2.0	93831
16SAMP-17644	CP177	Lysholt Testrig PE50mm ud HPC22	Below Detection	116	8	183369

Figure 1: Rarefaction curve

Rarefaction curves for all individual samples, calculated as the number of observed OTUs (Species) as function of the sequencing effort (Sampling Size). If the curve starts to flatten it is indicative of exhaustive sequencing of the diversity in the sample. Note that the scales of the axis differ by an order of magnitude.

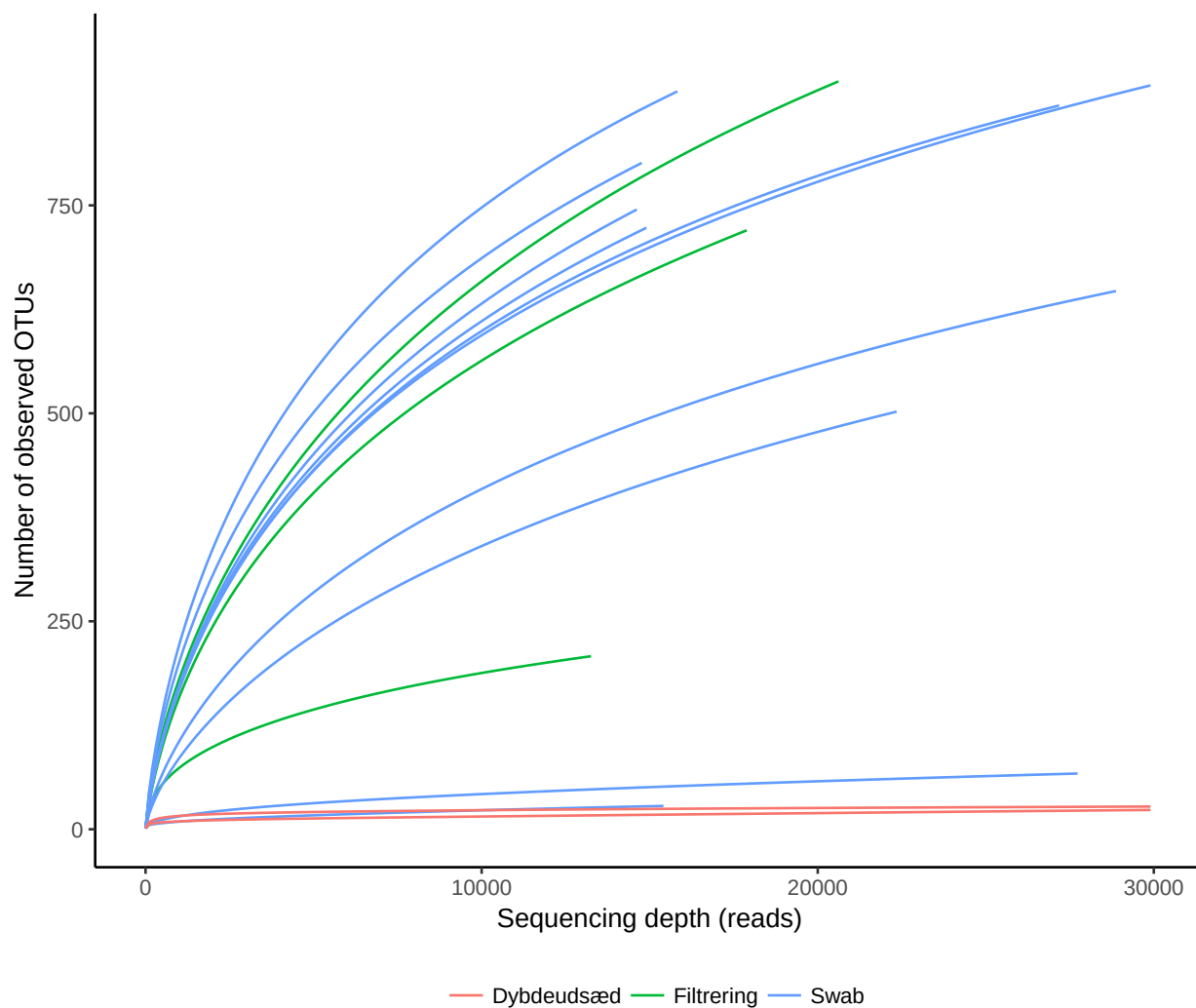


Figure 2: Principle component analysis

Identification of samples with similar microbial communities using multivariate statistics (PCA). Each point represent the microbial community in a specific sample. Distance between the sample dots signifies similarity; the closer the samples are, the more similar microbial composition they have.

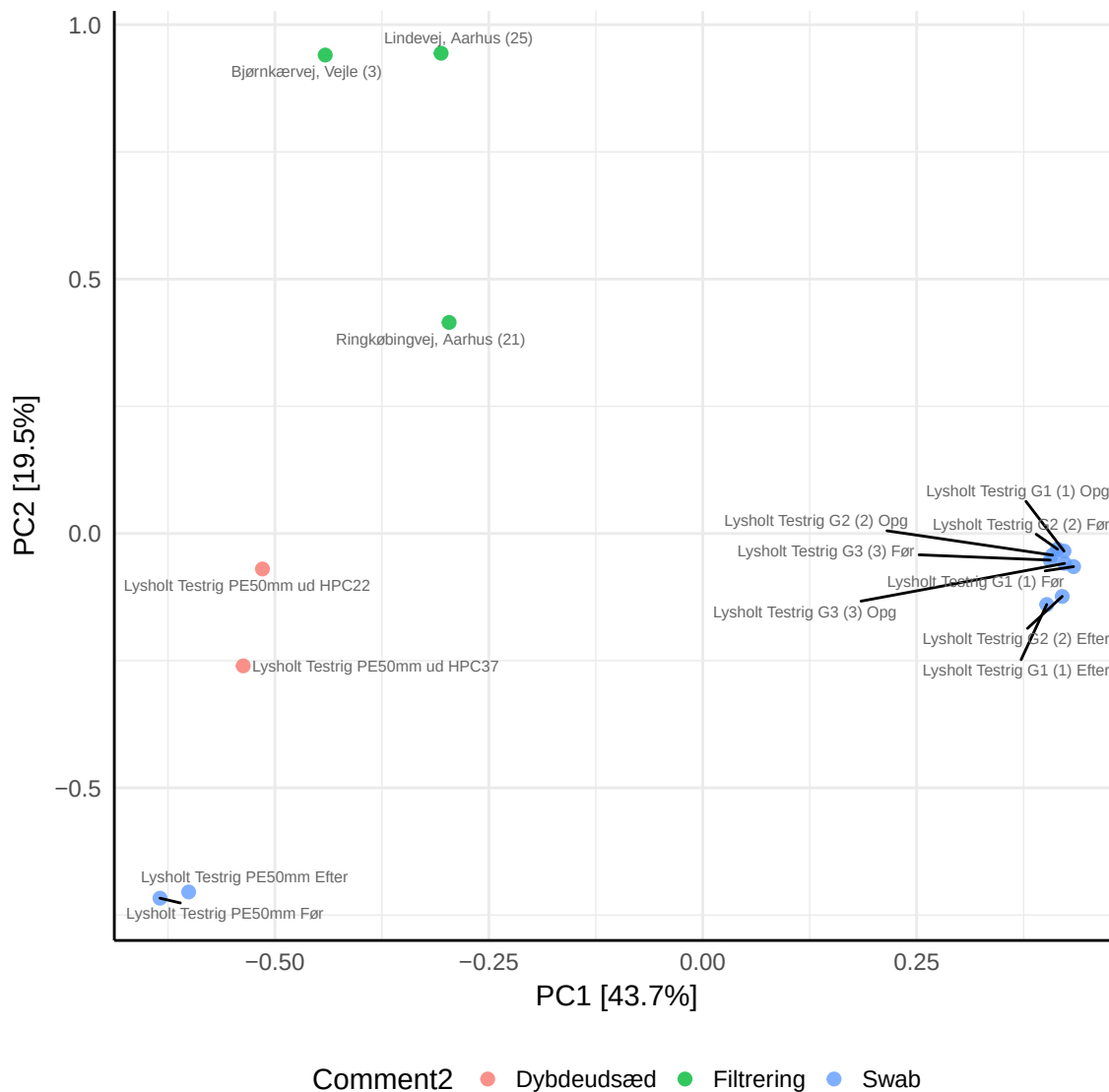


Table 2: The 25 most abundant bacterial genera

The table shows the 25 most abundant genera. Each genus have both a broad group name (Phylum) and a specific name (Genus). If no genus name could be assigned, the best assignment is shown. E.g. family (f____) Xanthomonadaceae.

	Dybdeudsæd		Filtrering			Swab											
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_11	0	0	0	0	0	17.7	23.6	37.9	18.9	12.5	44.2	16.5	42.1	0	0		
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_227	0.2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	82.4	63.9		
Proteobacteria; c__Proteobacteria_OTU_22	0	0	0	0	0	36.6	17.4	7.5	23.1	19	5.2	17.3	6.7	0	0		
Proteobacteria; c__Gammaproteobacteria_OTU_44	0	0	0	0	0	23.3	21.6	8.7	28.7	16.1	5.2	15.6	13.1	0	0		
Proteobacteria; Pseudoalteromonas	0	0	55	64.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Proteobacteria; Pseudomonas	82.2	0	0	0.2	7.8	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0		
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4	9.2	55.6	0.2	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0	4	17.7		
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_37	2.6	25.3	0.3	0	0.4	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2		
Actinobacteria; f__TM146_OTU_3343	0	0	0	0	0	6	2.4	2.8	6.4	3.7	3	2.4	2.2	0	0		
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_2089	0	0	0.1	0	0	1	1.3	7.7	2.7	2	6.8	2.7	3.1	0	0		
Bacteroidetes; Flavobacterium	0	0	0.1	0.1	21.5	0	0.5	0.2	0.1	0.4	0.2	0.9	0.1	0	0		
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_8	0	0	0.1	0	0	0.8	1	4.7	1.9	1.3	4.9	1.5	1.8	0	0		
Proteobacteria; Sulfuricurvum	0	0	0.4	0.1	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4302	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.2	7		
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_2248	0.8	13.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2		
Proteobacteria; f__WD260_OTU_42	0	0	0	0.6	0.4	0.2	1.4	1.4	0.3	2.7	1.7	2.8	1.4	0	0		
Proteobacteria; spb280	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6.5		
Proteobacteria; Shewanella	0	0	0	0.2	11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Proteobacteria; MNG7	0	0	0.2	2.2	0.5	0.5	1.6	0.9	0.3	1.4	1	1	1.5	0	0		
Proteobacteria; Hyphomicrobium	0	0	0	0.4	0.8	1	1.5	0.9	0.8	1.4	1.1	1	1.5	0	0		
Proteobacteria; f__Gallionellaceae_OTU_50	0	0	8.1	0.5	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Acidobacteria; f__Blastocatellaceae_OTU_43	0	0	0	1.5	0.3	0.7	1.6	0.3	0.9	1.4	0.5	1.3	0.7	0	0		
Proteobacteria; Thiothrix	0	0	8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Proteobacteria; Woodsholea	0	0	0	0.9	0.4	0.3	0.7	0.8	0.6	1.4	1	1.2	0.7	0	0		
Proteobacteria; Pedomicrobium	0	0	0	0.4	0.4	0.6	0.8	0.5	0.5	1.1	0.6	0.6	0.6	0	0		
	Lysholt Testrig PE50mm ud HPC22	Lysholt Testrig PE50mm ud HPC37	Bjørnkaervej, Vejle (3)			Lindevej, Aarhus (25)			Ringkøbingvej, Aarhus (21)			Lysholt Testrig G1 (1) Efter			Lysholt Testrig G1 (1) Før		
												Lysholt Testrig G1 (1) Opg			Lysholt Testrig G2 (2) Efter		
												Lysholt Testrig G2 (2) Før			Lysholt Testrig G2 (2) Opg		
												Lysholt Testrig G3 (3) Før			Lysholt Testrig G3 (3) Opg		
												Lysholt Testrig PE50mm Efter			Lysholt Testrig PE50mm Før		

Table 3: The 10 most abundant bacterial genera (Dybdeudsæd)

The table shows the 10 most abundant genera. Each genus have both a broad group name (Phylum) and a specific name (Genus). If no genus name could be assigned, the best assignment is shown. E.g. family (f___) Xanthomonadaceae.

Proteobacteria; Pseudomonas -	82.2	0
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4 -	9.2	55.6
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_37 -	2.6	25.3
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_2248 -	0.8	13.2
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_3959 -	0.4	3.2
Proteobacteria; f__Pseudomonadaceae_OTU_3424 -	2.1	0
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_1959 -	0.5	1.3
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4302 -	0.9	0
Proteobacteria; Simplicispira -	0.1	0.7
Proteobacteria; Polaromonas -	0.1	0.4

Lysholt Testrig PE50mm ud HPC22

Lysholt Testrig PE50mm ud HPC37

Table 4: The 25 most abundant bacterial genera (Filtrering)

The table shows the 25 most abundant genera. Each genus have both a broad group name (Phylum) and a specific name (Genus). If no genus name could be assigned, the best assignment is shown. E.g. family (f___) Xanthomonadaceae.

Proteobacteria; Pseudoalteromonas -	55	64.4	0
Bacteroidetes; Flavobacterium -	0.1	0.1	21.5
Proteobacteria; Sulfuricurvum -	0.4	0.1	15.8
Proteobacteria; Shewanella -	0	0.2	11.1
Proteobacteria; f__Gallionellaceae_OTU_50 -	8.1	0.5	1.7
Proteobacteria; Thiothrix -	8	0.1	0
Proteobacteria; Pseudomonas -	0	0.2	7.8
Proteobacteria; Undibacterium -	0.5	0	4.9
Proteobacteria; c__Betaproteobacteria_OTU_779 -	3.6	0	0
Proteobacteria; f__Pseudomonadaceae_OTU_3424 -	0	0	3.4
Proteobacteria; Sulfurovum -	3.3	0	0
Proteobacteria; MNG7 -	0.2	2.2	0.5
Proteobacteria; o__GR-WP33-30_OTU_60 -	0	2.3	0.4
Proteobacteria; o__TRA3-20_OTU_49 -	0	1.7	0.7
Proteobacteria; Gallionella -	1.2	0.2	0.9
Proteobacteria; Thiobacillus -	1.8	0	0.1
Acidobacteria; f__Blastocatellaceae_OTU_43 -	0	1.5	0.3
Proteobacteria; f__Oxalobacteraceae_OTU_299 -	0	0	1.7
Acidobacteria; f__Blastocatellaceae_OTU_2596 -	0	1.2	0.3
Cyanobacteria; c__ML635J-21_OTU_839 -	0	0	1.5
Proteobacteria; f__Gallionellaceae_OTU_715 -	0.6	0.1	0.7
Candidate division TM7; o__FW73_OTU_290 -	0	0	1.4
Bacteroidetes; PHOS-HE31 -	0.8	0.4	0.2
Proteobacteria; Rheinheimera -	0	0	1.4
Proteobacteria; Woodsholea -	0	0.9	0.4
	Bjørnkærvej, Vejle (3)	Lindevej, Aarhus (25)	Ringkøbingvej, Aarhus (21)

Table 5: The 25 most abundant bacterial genera (Swab)

The table shows the 25 most abundant genera. Each genus have both a broad group name (Phylum) and a specific name (Genus). If no genus name could be assigned, the best assignment is shown. E.g. family (f___) Xanthomonadaceae.

Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_11 -	17.7	23.6	37.9	18.9	12.5	44.2	16.5	42.1	0	0
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_227 -	0.1	0	0	0	0	0	0	0	82.4	63.9
Proteobacteria; c__Proteobacteria_OTU_22 -	36.8	17.4	7.5	23.1	19	5.2	17.3	6.7	0	0
Proteobacteria; c__Gammaproteobacteria_OTU_44 -	23.3	21.8	8.7	28.7	16.1	5.2	15.6	13.1	0	0
Actinobacteria; f__TM146_OTU_3343 -	6	2.4	2.8	6.4	3.7	3	2.4	2.2	0	0
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_2089 -	1	1.3	7.7	2.7	2	6.8	2.7	3.1	0	0
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4 -	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0	4	17.7
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_8 -	0.8	1	4.7	1.9	1.3	4.9	1.5	1.8	0	0
Proteobacteria; f__Comamonadaceae_OTU_4302 -	0	0	0	0	0	0	0	0	7.2	7
Proteobacteria; f__WD260_OTU_42 -	0.2	1.4	1.4	0.3	2.7	1.7	2.8	1.4	0	0
Proteobacteria; spb280 -	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6.5
Proteobacteria; Hyphomicrobium -	1	1.5	0.9	0.8	1.4	1.1	1	1.5	0	0
Proteobacteria; MNG7 -	0.5	1.6	0.9	0.3	1.4	1	1	1.5	0	0
Acidobacteria; f__Blastocatellaceae_OTU_43 -	0.7	1.6	0.3	0.9	1.4	0.5	1.3	0.7	0	0
Proteobacteria; Woodsholea -	0.3	0.7	0.8	0.6	1.4	1	1.2	0.7	0	0
Actinobacteria; f__TM146_OTU_14 -	1.3	0.5	0.5	1.2	0.6	0.6	0.5	0.4	0	0
Proteobacteria; Pedomicrobium -	0.6	0.8	0.5	0.5	1.1	0.6	0.6	0.6	0	0
Candidate division TM7; c__Candidate division TM7_OTU_309 -	0.5	0.3	1.4	0.2	0.1	0.8	0.3	1.4	0	0
Proteobacteria; Perlucidibaca -	0	0.1	0	0.3	0.3	0	3.4	0	0	0
Proteobacteria; Candidatus Entothionella -	0	0.3	0.4	0.1	1	0.5	1.1	0.2	0	0
Proteobacteria; f__WD260_OTU_55 -	0.2	0.5	0.3	0.1	0.9	0.4	0.6	0.6	0	0
Acidobacteria; o__Subgroup 6_OTU_108 -	0.1	0.4	0.2	0.2	0.9	0.5	0.9	0.4	0	0
k__Bacteria_OTU_254; k__Bacteria_OTU_254 -	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	2.6
Proteobacteria; o__Nitrosomonadales_OTU_54 -	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.2	0.8	0.2	0	0
Candidate division OD1; c__Candidate division OD1_OTU_409 -	0.1	0.4	0.9	0	0.3	0.6	0.4	0.5	0	0
	Lysholt Testrig G1 (1) Efter -	Lysholt Testrig G1 (1) Før -	Lysholt Testrig G1 (1) Opg -	Lysholt Testrig G2 (2) Efter -	Lysholt Testrig G2 (2) Før -	Lysholt Testrig G2 (2) Opg -	Lysholt Testrig G3 (3) Før -	Lysholt Testrig G3 (3) Opg -	Lysholt Testrig PE50mm Efter -	Lysholt Testrig PE50mm Før -

Materials and methods

DNA extraction

For all **swab** and **filter** samples DNA was extracted through the PowerWater DNA Isolation Kit (MO BIO) following the manufactures instructions.

For all **dybdeudsæd** samples the DNA was extracted by first freeze-drying the agar samples and then adding 1/3 dried agar plate to the Fast DNA Spin Kit for Soil (MP bio) following the manufactures instructions, with the excepted of bead beating for 4x40s at 6m/s.

qPCR

The abundance of 16S rRNA genes per ng of isolated DNA was estimated based on the broad-range qPCR probe and primer set (Nadkarni et al., 2002).

A linearized plasmid containing the qPCR amplicon was used to create the standard curve as previously described (Karst et al., 2016). Briefly, the forward (5'-TCCTACGGGAGGCAGCAGT-3') and reverse (5'-GGACTACCAGGGTATCTAATCCTGTT-3') primers (Nadkarni et al., 2002) were used to amplify the qPCR amplicon of from *E. coli* MG1655 using the AccuPrime Pfx DNA polymerase (Thermo Scientific). The PCR was carried out according to the manufacturers recommendations with the following PCR program: PCR activation (94 °C, 2 min) followed by 30 cycles of denaturation (94 °C, 30 s), annealing (60 °C, 30 s) and extension (68 °C, 90 s) and a final extension (68 °C, 5 min). The PCR product was purified on a E-gel CloneWell gel (Thermo Scientific) and cloned into the pCR4-TOPO vector using the TOPO TA Cloning Kit for Sequencing (Thermo Scientific) according to the manufactures recommendations. The obtained plasmid subsequently linearized with FastDigest NcoI (Fermentas), blunted using the Klenow fragment (Fermentas). The concentration of the amplicon stock was determined using the Qubit HS dsDNA assay kit (Life Technologies) and the copy number then calculated based on the molecular weight of the linerized plasmid . The amplicon stock was diluted to 108 copies/ μ L in 10 mM tris buffer (pH 8.5) and stored as aliquots at -18 °C.

qPCR were carried out in technical duplicates using the Mx3005P qPCR system (Stratagene) and the EXPRESS qPCR Supermix (Life Technologies). Reactions of 20 μ L were prepared according to manufacturer's instruction using 50 nM ROX, 500 nM of each primer, 200 nM hydrolysis probe ((6-FAM)-5'-CGTATTACCGCGGCTGCTGGCACC-3'-(BHQ-1)) and 5 μ L template DNA. The qPCR reaction conditions were as follows: UDG incubation (50 °C, 2 min) and PCR activation (95 °C, 2 min) followed by 45 cycles of denaturation (95 °C, 15 s) and combined annealing and extension (60 °C, 1 min). Amplicon standards with concentrations ranging from 10^1 - 10^7 copies/ μ L were included for all qPCR runs and used for quantification. A clear logarithmic correlation was found between amplicon concentration and the Cq value ($R^2=0.995$) and the efficiency of the qPCR was acceptable (102.3%). All primers and probes were HPLC purified (DNA Technology, Denmark).

16S rRNA amplicon library preparation

Bacteria V3-4 Amplicon PCR

Bacteria V3-4 amplicon libraries were prepared by a custom protocol adapted from an Illumina protocol (Illumina, 2015). 2 μ L of DNA sample was used as template for PCR amplification. Each PCR reaction (25 μ L) contained dNTPs (400 μ M of each), MgSO₄ (2.5 mM), Platinum® Taq DNA polymerase HF (0.5U), 1X Platinum® High Fidelity buffer (Thermo Fisher Scientific, USA) and tailed primermix (400 nM of each forward and reverse). PCR was run with following program: Initial denaturation at 95°C for 2 min, 35 cycles of amplification (95°C for 20 s, 50°C for 30 s, 72°C for 60 s) and a final elongation at 72°C for 5 min. The forward and reverse tailed primers were designed according to (Illumina, 2015) and contain primer parts targeting bacteria V3-4 16S fragments. V3-4 primers (Herlemann et al., 2011): 5'-CCTACGGGNGGCWGCAG (341F)

and 5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC (805R). The primer tails enable attachment of Illumina Nextera adaptors for sequencing in a subsequent PCR. The amplicon libraries were purified with Agencourt Ampure XP Bead (Beckman Coulter, USA) following the vendor recommended protocol, except for a bead to sample ratio of 4:5. The DNA was eluted in 15 μ L of nuclease free water (Qiagen, Germany). DNA concentration was measured using Quant-iT DNA Assay Kit, high sensitivity (Thermo Fisher Scientific, USA) and the quality of a subset of samples was validated with a TapeStation 2200, using D1000 ScreenTapes (Agilent, USA)

Library PCR

Sequencing libraries were prepared from the purified bacteria V3-4 amplicon libraries using a second PCR. Each PCR reaction (25 μ L) contained 1x PCRBIO HiFi buffer (PCRBiosystems, UK), PCRBIO HiFi Polymerase (1U) (PCRBiosystems, UK), adaptor mix (400 nM of each forward and reverse) and 2 μ L of amplicon library template (< 5 ng/ μ L). PCR was run with following program: Initial denaturation at 95°C for 2 min, 8 cycles of amplification (95°C for 20 s, 55°C for 30 s, 72°C for 60 s) and a final elongation at 72°C for 5 min. The sequencing libraries were purified with Agencourt Ampure XP Bead (Beckman Coulter, USA) following the vendor recommended protocol, except for a bead to sample ratio of 1:1. The DNA was eluted in 15 μ L of nuclease free water (Qiagen, Germany). DNA concentration was measured using Quant-iT DNA Assay Kit, high sensitivity (Thermo Fisher Scientific, USA). Gel electrophoresis using TapeStation 2200 and D1000 screentapes (Agilent, USA) was used to check the product size and purity of a subset of sequencing libraries.

DNA sequencing

The purified sequencing libraries were pooled in equimolar concentrations and diluted to 4 nM or lower. The samples were paired end sequenced (2x301bp) on a MiSeq (Illumina) using a MiSeq Reagent kit v3, 600 cycles (Illumina, USA) following the standard guidelines for preparing and loading samples on the MiSeq. 20% Phix control library was spiked in to overcome low complexity issue often observed with amplicon samples.

16S rRNA amplicon bioinformatic processing

Forward reads were trimmed for quality using Trimmomatic v. 0.32 (Bolger et al., 2014) with the settings SLIDINGWINDOW:5:3 and MINLEN:275. The trimmed reads were clipped to 275 bp, dereplicated and formatted for use in the UPARSE workflow (Edgar, 2013). The dereplicated reads were clustered, using the usearch v. 7.0.1090 -cluster_otus command with default settings. OTU abundances were estimated using the usearch v. 7.0.1090 -usearch_global command with -id 0.97. Taxonomy was assigned using the RDP classifier (Wang et al., 2007) as implemented in the parallel_assign_taxonomy_rdp.py script in QIIME (Caporaso et al., 2010), using the MiDAS database v.1.20 (McIlroy et al., 2015). The results were analysed in R (R Core Team, 2015) through the Rstudio IDE using the ampvis package v.2.0 (Albertsen et al., 2015).

References

- Albertsen, M., Karst, S.M., Ziegler, A.S., Kirkegaard, R.H., and Nielsen, P.H. (2015) Back to Basics – The Influence of DNA Extraction and Primer Choice on Phylogenetic Analysis of Activated Sludge Communities. *PLOS ONE* **10**: e0132783.
- Bolger, A.M., Lohse, M., and Usadel, B. (2014) Trimmomatic: A flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics* **30**: 2114–2120.
- Caporaso, J.G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F.D., Costello, E.K., et al. (2010) QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. **7**: 335–336.
- Edgar, R.C. (2013) UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads. *Nature methods* **10**: 996–8.
- Herlemann, D.P., Labrenz, M., Jürgens, K., Bertilsson, S., Waniek, J.J., and Andersson, A.F. (2011) Transitions in bacterial communities along the 2000 km salinity gradient of the Baltic Sea. *The ISME journal* **5**: 1571–9.
- Illumina, I. (2015) 16S Metagenomic Sequencing Library Preparation, Part # 15044223 Rev. B.
- Karst, S.M., Albertsen, M., Kirkegaard, R.H., Dueholm, M.S., and Nielsen, P.H. (2016) Molecular Methods. In, Loosdrecht, M.C.M. van, Nielsen, P.H., Lopez-Vazquez, C.M., and Brdjanovic, D. (eds), *Experimental methods in wastewater treatment*. IWA Publishing, pp. 301–339.
- McIlroy, S.J., Saunders, A.M., Albertsen, M., Nierychlo, M., McIlroy, B., Hansen, A.A., et al. (2015) MiDAS: the field guide to the microbes of activated sludge. *Database : the journal of biological databases and curation* **2015**: bav062.
- Nadkarni, M.A., Martin, F.E., Jacques, N.A., and Hunter, N. (2002) Determination of bacterial load by real-time PCR using a broad-range (universal) probe and primers set. *Microbiology (Reading, England)* **148**: 257–66.
- R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing.
- Wang, Q., Garrity, G.M., Tiedje, J.M., and Cole, J.R. (2007) Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy. *Applied and environmental microbiology* **73**: 5261–7.

Bilag 5. AAUs partikelresultater

Bjørnkærvej		Testrig G1		Venusvej		????		Ringkøbingvej		Lindevej		Egsagervej		Søbakkevej	
Multisizer	05-05-2017 14:10	Multisizer	14:13 5 May 2017	Multisizer	14:12 5 May 2017	Multisizer	14:14 5 May 2017	Multisizer	14:15 5 May 2017	Multisizer	14:48 5 May 2017	Multisizer	14:46 5 May 2017	Multisizer	05-05-2017 14:47
File name:	100 um 2__77.#av	File name:	100 um 7__79.#av	File name:	100 um 17__81.#av	File name:	100 um 18__83.#av	File name:	100 um 20__85.#av	File name:	100 um 26__87.#av	File name:	100 um 29__89.#av	File name:	100 um 33__91.#av
Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (	Diff.	Bin Diamete	Diff.
um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number
per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL	
2,072	2,59E+05	2,072	2,05E+05	2,072	3,36E+06	2,072	2,43E+06	2,072	1,21E+05	2,072	1,37E+05	2,072	2,69E+05	2,072	1,47E+06
2,217	2,17E+05	2,217	1,67E+05	2,217	2,81E+06	2,217	2,07E+06	2,217	1,04E+05	2,217	1,17E+05	2,217	2,45E+05	2,217	1,38E+06
2,362	1,66E+05	2,362	1,34E+05	2,362	2,49E+06	2,362	1,85E+06	2,362	96000	2,362	96500	2,362	2,29E+05	2,362	1,22E+06
2,507	1,55E+05	2,507	1,12E+05	2,507	2,13E+06	2,507	1,68E+06	2,507	81000	2,507	89500	2,507	2,09E+05	2,507	1,22E+06
2,652	1,53E+05	2,652	1,10E+05	2,652	1,87E+06	2,652	1,46E+06	2,652	79000	2,652	61000	2,652	1,99E+05	2,652	1,03E+06
2,797	1,28E+05	2,797	87000	2,797	1,73E+06	2,797	1,34E+06	2,797	63500	2,797	72000	2,797	1,89E+05	2,797	9,75E+05
2,943	1,20E+05	2,943	99500	2,943	1,54E+06	2,943	1,16E+06	2,943	67000	2,943	51000	2,943	1,57E+05	2,943	9,01E+05
3,088	1,10E+05	3,088	81000	3,088	1,39E+06	3,088	1,08E+06	3,088	50500	3,088	55000	3,088	1,69E+05	3,088	8,64E+05
3,233	84000	3,233	69500	3,233	1,26E+06	3,233	9,70E+05	3,233	50500	3,233	52500	3,233	1,44E+05	3,233	7,84E+05
3,378	82500	3,378	67500	3,378	1,09E+06	3,378	9,00E+05	3,378	36500	3,378	42500	3,378	1,37E+05	3,378	7,54E+05
3,523	63000	3,523	64000	3,523	1,00E+06	3,523	8,15E+05	3,523	32500	3,523	37000	3,523	1,38E+05	3,523	6,60E+05
3,668	52500	3,668	45000	3,668	8,12E+05	3,668	6,36E+05	3,668	38500	3,668	25000	3,668	1,14E+05	3,668	5,62E+05
3,813	66000	3,813	42500	3,813	7,90E+05	3,813	6,01E+05	3,813	27500	3,813	30500	3,813	1,17E+05	3,813	5,83E+05
3,957	43000	3,957	36500	3,957	6,77E+05	3,957	5,77E+05	3,957	25000	3,957	25500	3,957	1,05E+05	3,957	5,14E+05
4,102	45000	4,102	35000	4,102	6,28E+05	4,102	5,14E+05	4,102	28000	4,102	26500	4,102	1,20E+05	4,102	4,90E+05
4,248	39000	4,248	38500	4,248	5,35E+05	4,248	4,48E+05	4,248	22500	4,248	19000	4,248	1,19E+05	4,248	4,89E+05
4,392	30000	4,392	23000	4,392	4,73E+05	4,392	3,54E+05	4,392	16000	4,392	21500	4,392	91000	4,392	4,14E+05
4,538	34500	4,538	29000	4,538	4,23E+05	4,538	3,44E+05	4,538	17000	4,538	18000	4,538	1,01E+05	4,538	4,10E+05
4,682	27000	4,682	28500	4,682	3,93E+05	4,682	2,81E+05	4,682	16000	4,682	20500	4,682	1,02E+05	4,682	3,37E+05
4,828	35000	4,828	23000	4,828	3,04E+05	4,828	2,58E+05	4,828	15000	4,828	17500	4,828	91500	4,828	3,39E+05
4,972	25500	4,972	29000	4,972	2,94E+05	4,972	2,31E+05	4,972	12500	4,972	13000	4,972	75500	4,972	3,09E+05
5,118	23500	5,118	21000	5,118	2,55E+05	5,118	1,83E+05	5,118	18500	5,118	12500	5,118	86000	5,118	2,94E+05
5,262	17000	5,262	22000	5,262	2,03E+05	5,262	1,60E+05	5,262	14000	5,262	9000	5,262	70000	5,262	2,80E+05
5,408	14500	5,408	19500	5,408	1,71E+05	5,408	1,74E+05	5,408	10500	5,408	12000	5,408	64500	5,408	2,37E+05
5,552	16500	5,552	17500	5,552	1,62E+05	5,552	1,15E+05	5,552	12500	5,552	14000	5,552	72000	5,552	2,13E+05
5,698	14000	5,698	15500	5,698	1,54E+05	5,698	1,22E+05	5,698	10500	5,698	10500	5,698	68500	5,698	2,22E+05
5,842	13500	5,842	14000	5,842	1,39E+05	5,842	1,14E+05	5,842	7000	5,842	10500	5,842	74500	5,842	2,15E+05
5,988	10000	5,988	20500	5,988	1,10E+05	5,988	90000	5,988	6000	5,988	8000	5,988	59000	5,988	1,58E+05
6,132	12500	6,132	16000	6,132	1,03E+05	6,132	76500	6,132	6500	6,132	7500	6,132	54000	6,132	1,67E+05
6,278	7500	6,278	10500	6,278	72500	6,278	66500	6,278	6500	6,278	7500	6,278	49500	6,278	1,41E+05
6,422	8000	6,422	11000	6,422	88500	6,422	63000	6,422	6500	6,422	5500	6,422	60500	6,422	1,46E+05
6,568	8500	6,568	12500	6,568	57500	6,568	55500	6,568	7500	6,568	6000	6,568	44500	6,568	1,41E+05
6,712	7500	6,712	8000	6,712	70000	6,712	49500	6,712	8500	6,712	4000	6,712	43000	6,712	1,24E+05
6,858	7500	6,858	11000	6,858	60500	6,858	55000	6,858	4500	6,858	3500	6,858	41000	6,858	1,14E+05
7,002	4500	7,002	9500	7,002	45000	7,002	32500	7,002	6000	7,002	2000	7,002	49000	7,002	1,06E+05
7,148	9000	7,148	10000	7,148	40500	7,148	35500	7,148	3500	7,148	5000	7,148	40500	7,148	1,06E+05
7,292	4000	7,292	5000	7,292	32000	7,292	25000	7,292	5000	7,292	5500	7,292	34000	7,292	89000
7,438	3000	7,438	4500	7,438	44500	7,438	25500	7,438	6500	7,438	1500	7,438	37500	7,438	91000
7,583	4500	7,583	5000	7,583	33500	7,583	26000	7,583	2000	7,583	1500	7,583	32500	7,583	90000
7,727	3500	7,727	6000	7,727	25500	7,727	18000	7,727	5500	7,727	6500	7,727	36500	7,727	83000
7,873	5000	7,873	2500	7,873	26500	7,873	26500	7,873	2000	7,873	2000	7,873	28000	7,873	69500
8,017	6000	8,017	3500	8,017	22000	8,017	12500	8,017	2500	8,017	3500	8,017	31000	8,017	62000
8,163	4500	8,163	6000	8,163	21500	8,163	16000	8,163	2500	8,163	2000	8,163	37500	8,163	65000
8,307	3000	8,307	8500	8,307	16000	8,307	16000	8,307	3500	8,307	1000	8,307	24000	8,307	61500
8,452	2500	8,452	4000	8,452	20000	8,452	15000	8,452	2500	8,452	3000	8,452	23500	8,452	50500
8,597	3000	8,597	7500	8,597	19500	8,597	13000	8,597	3500	8,597	3500	8,597	19000	8,597	58000
8,743	3500	8,743	4500	8,743	18000	8,743	11500	8,743	3500	8,743	2500	8,743	23500	8,743	50000
8,887	1000	8,887	3000	8,887	15500	8,887	11500	8,887	2000	8,887	3000	8,887	24000	8,887	45500
9,032	2500	9,032	5500	9,032	12500	9,032	11500	9,032	3000	9,032	500	9,032	23000	9,032	37500
9,177	4000	9,177	3500	9,177	13000	9,177	11000	9,177	2000	9,177	1500	9,177	21000	9,177	46500
9,323	2000	9,323	3000	9,323	10500	9,323	5000	9,323	1500	9,323	2000	9,323	20500	9,323	40000
9,468	2000	9,468	4000	9,468	7000	9,468	10500	9,468	1500	9,468	2000	9,468	19500	9,468	39500
9,613	2000	9,613	2000	9,613	5500	9,613	7500	9,613	4000	9,613	2500	9,613	16000	9,613	38000
9,757	1500	9,757	3500	9,757	7000	9,757	8500	9,757	2000	9,757	2500	9,757	19000	9,757	25500
9,903	3000	9,903	2500	9,903	10000	9,903	5000	9,903	2000	9,903	2000	9,903	16500	9,903	34500
10,05	1500	10,05	2500	10,05	6000	10,05	7000	10,05	500	10,05	500	10,05	17000	10,05	31500
10,19	500	10,19	2500	10,19	7000	10,19	6000	10,19	1000	10,19	2000	10,19	12500	10,19	26500
10,34	1500	10,34	5500	10,34	4500	10,34	6500	10,34	1500	10,34	500	10,34	10500	10,34	27000
10,48	1500	10,48	1500	10,48	4000	10,48	5500	10,48	1000	10,48	1000	10,48	14500	10,48	24000
10,63	1000	10,63	1500	10,63	8500	10,63	4500	10,63	1000	10,63	3000	10,63	14000	10,63	22500
10,77	1000	10,77	2000	10,77	8500	10,77	3500	10,77	0	10,77	1500	10,77	12000	10,77	18500

Bjørnkærvej		Testrig G1		Venusvej		????		Ringkøbingvej		Lindevej		Egsagervej		Søbakkevej	
Multisizer	05-05-2017 14:10	Multisizer	14:13 5 May 2017	Multisizer	14:12 5 May 2017	Multisizer	14:14 5 May 2017	Multisizer	14:15 5 May 2017	Multisizer	14:48 5 May 2017	Multisizer	14:46 5 May 2017	Multisizer	05-05-2017 14:47
File name:	100 um 2__77.#av	File name:	100 um 7__79.#av	File name:	100 um 17__81.#av	File name:	100 um 18__83.#av	File name:	100 um 20__85.#av	File name:	100 um 26__87.#av	File name:	100 um 29__89.#av	File name:	100 um 33__91.#av
Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (	Diff.	Bin Diamete	Diff.
um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number
per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL	
10,92	1000	10,92	2500	10,92	5500	10,92	3000	10,92	1000	10,92	1500	10,92	12000	10,92	22000
11,06	1000	11,06	1000	11,06	8000	11,06	3500	11,06	2000	11,06	500	11,06	10000	11,06	24000
11,21	0	11,21	2000	11,21	3500	11,21	4500	11,21	1500	11,21	500	11,21	10500	11,21	20500
11,35	500	11,35	2500	11,35	5000	11,35	2000	11,35	2500	11,35	2000	11,35	11000	11,35	24000
11,5	1500	11,5	2500	11,5	3500	11,5	2000	11,5	500	11,5	2000	11,5	8000	11,5	18000
11,64	1000	11,64	1000	11,64	3000	11,64	4000	11,64	2000	11,64	1500	11,64	12000	11,64	15000
11,79	0	11,79	2000	11,79	3500	11,79	4500	11,79	0	11,79	500	11,79	8500	11,79	14000
11,93	500	11,93	2500	11,93	4500	11,93	2000	11,93	500	11,93	2000	11,93	9500	11,93	15500
12,08	0	12,08	1500	12,08	3500	12,08	1000	12,08	500	12,08	0	12,08	6500	12,08	17000
12,22	0	12,22	1500	12,22	3000	12,22	2000	12,22	500	12,22	1500	12,22	9500	12,22	16000
12,37	500	12,37	1000	12,37	2500	12,37	2500	12,37	0	12,37	1000	12,37	7500	12,37	10500
12,51	500	12,51	1000	12,51	3500	12,51	1500	12,51	1000	12,51	1000	12,51	3500	12,51	15500
12,66	1000	12,66	1500	12,66	2500	12,66	1000	12,66	500	12,66	0	12,66	5500	12,66	9500
12,8	500	12,8	3000	12,8	3500	12,8	3000	12,8	0	12,8	500	12,8	5000	12,8	6500
12,95	1500	12,95	1000	12,95	1500	12,95	2000	12,95	500	12,95	1000	12,95	8500	12,95	12500
13,09	1000	13,09	500	13,09	2000	13,09	1000	13,09	500	13,09	500	13,09	8000	13,09	12000
13,24	0	13,24	1000	13,24	1500	13,24	3000	13,24	1000	13,24	0	13,24	2500	13,24	7000
13,38	1000	13,38	1000	13,38	1000	13,38	2000	13,38	1000	13,38	0	13,38	6500	13,38	9500
13,53	500	13,53	1000	13,53	2000	13,53	2000	13,53	1500	13,53	2000	13,53	7000	13,53	10000
13,67	500	13,67	1000	13,67	1000	13,67	2500	13,67	1000	13,67	500	13,67	5500	13,67	3500
13,82	1000	13,82	1500	13,82	500	13,82	1500	13,82	1000	13,82	0	13,82	4500	13,82	6500
13,96	0	13,96	500	13,96	1500	13,96	2500	13,96	500	13,96	500	13,96	3000	13,96	7000
14,11	1000	14,11	500	14,11	3000	14,11	1500	14,11	0	14,11	500	14,11	2500	14,11	5500
14,25	0	14,25	2000	14,25	500	14,25	3000	14,25	1000	14,25	500	14,25	5500	14,25	3500
14,4	0	14,4	2500	14,4	2500	14,4	1500	14,4	1000	14,4	0	14,4	2500	14,4	10000
14,54	1000	14,54	0	14,54	500	14,54	1500	14,54	1500	14,54	1500	14,54	2000	14,54	7000
14,69	500	14,69	0	14,69	1500	14,69	500	14,69	0	14,69	1000	14,69	3000	14,69	6500
14,83	0	14,83	0	14,83	3000	14,83	1000	14,83	2000	14,83	500	14,83	1500	14,83	12000
14,98	0	14,98	500	14,98	0	14,98	500	14,98	0	14,98	1500	14,98	500	14,98	10500
15,12	0	15,12	1500	15,12	1500	15,12	1000	15,12	0	15,12	0	15,12	1500	15,12	6000
15,27	0	15,27	500	15,27	1000	15,27	1500	15,27	0	15,27	500	15,27	3500	15,27	4000
15,41	1000	15,41	500	15,41	500	15,41	1000	15,41	500	15,41	1500	15,41	4500	15,41	4000
15,56	0	15,56	1000	15,56	1500	15,56	500	15,56	500	15,56	0	15,56	2500	15,56	6500
15,7	0	15,7	500	15,7	1500	15,7	500	15,7	1000	15,7	500	15,7	2000	15,7	5000
15,85	0	15,85	500	15,85	500	15,85	0	15,85	500	15,85	500	15,85	2000	15,85	3500
15,99	500	15,99	500	15,99	1500	15,99	0	15,99	0	15,99	500	15,99	500	15,99	5500
16,14	500	16,14	1000	16,14	2500	16,14	1000	16,14	0	16,14	0	16,14	1000	16,14	6500
16,28	500	16,28	500	16,28	2000	16,28	1000	16,28	0	16,28	500	16,28	2500	16,28	5000
16,43	0	16,43	2000	16,43	2000	16,43	2000	16,43	0	16,43	500	16,43	4000	16,43	5500
16,57	500	16,57	500	16,57	1500	16,57	0	16,57	0	16,57	500	16,57	3000	16,57	4500
16,72	0	16,72	1500	16,72	0	16,72	0	16,72	0	16,72	1500	16,72	2000	16,72	5500
16,86	0	16,86	0	16,86	0	16,86	1500	16,86	0	16,86	500	16,86	3000	16,86	4000
17,01	500	17,01	500	17,01	500	17,01	500	17,01	500	17,01	0	17,01	1500	17,01	3500
17,15	0	17,15	0	17,15	0	17,15	1000	17,15	0	17,15	500	17,15	1500	17,15	3000
17,3	0	17,3	1000	17,3	1000	17,3	0	17,3	0	17,3	500	17,3	2500	17,3	5500
17,44	0	17,44	0	17,44	1000	17,44	500	17,44	1000	17,44	0	17,44	1000	17,44	2000
17,59	0	17,59	500	17,59	1500	17,59	0	17,59	0	17,59	0	17,59	1500	17,59	3000
17,73	0	17,73	500	17,73	1500	17,73	0	17,73	0	17,73	500	17,73	1500	17,73	2500
17,88	0	17,88	0	17,88	500	17,88	0	17,88	0	17,88	0	17,88	2000	17,88	1500
18,02	0	18,02	500	18,02	1500	18,02	1000	18,02	0	18,02	500	18,02	2000	18,02	2000
18,17	0	18,17	1000	18,17	500	18,17	500	18,17	500	18,17	0	18,17	4000	18,17	3000
18,31	0	18,31	1000	18,31	500	18,31	0	18,31	0	18,31	0	18,31	1000	18,31	2000
18,46	0	18,46	0	18,46	500	18,46	0	18,46	0	18,46	0	18,46	2000	18,46	4000
18,6	0	18,6	500	18,6	1000	18,6	1000	18,6	0	18,6	0	18,6	1500	18,6	1000
18,75	500	18,75	1000	18,75	2000	18,75	0	18,75	2000	18,75	500	18,75	500	18,75	1500
18,89	0	18,89	0	18,89	1000	18,89	500	18,89	500	18,89	500	18,89	1500	18,89	2500
19,04	0	19,04	500	19,04	1000	19,04	0	19,04	500	19,04	0	19,04	2000	19,04	0
19,18	1000	19,18	500	19,18	1000	19,18	500	19,18	0	19,18	500	19,18	1000	19,18	500
19,33	0	19,33	500	19,33	500	19,33	1000	19,33	0	19,33	0	19,33	1000	19,33	1000
19,47	0	19,47	500	19,47	500	19,47	0	19,47	0	19,47	500	19,47	500	19,47	2000
19,62	0	19,62	0	19,62	1000	19,62	0	19,62	0	19,62	500	19,62	2000	19,62	500
19,76	0	19,76	1500	19,76	1000	19,76	500	19,76	0	19,76	500	19,76	2500	19,76	500

Bjørnkærvej		Testrig G1		Venusvej		????		Ringkøbingvej		Lindevej		Egsagervej		Søbakkevej	
Multisizer	05-05-2017 14:10	Multisizer	14:13 5 May 2017	Multisizer	14:12 5 May 2017	Multisizer	14:14 5 May 2017	Multisizer	14:15 5 May 2017	Multisizer	14:48 5 May 2017	Multisizer	14:46 5 May 2017	Multisizer	05-05-2017 14:47
File name:	100 um 2__77.#av	File name:	100 um 7__79.#av	File name:	100 um 17__81.#av	File name:	100 um 18__83.#av	File name:	100 um 20__85.#av	File name:	100 um 26__87.#av	File name:	100 um 29__89.#av	File name:	100 um 33__91.#av
Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (	Diff.	Bin Diamete	Diff.
um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number
per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL	
19,91	0	19,91	0	19,91	0	19,91	0	19,91	0	19,91	0	19,91	1000	19,91	500
20,05	500	20,05	0	20,05	1000	20,05	0	20,05	0	20,05	0	20,05	1000	20,05	500
20,2	0	20,2	500	20,2	500	20,2	500	20,2	0	20,2	0	20,2	2500	20,2	1500
20,34	0	20,34	0	20,34	0	20,34	500	20,34	0	20,34	500	20,34	500	20,34	1500
20,49	0	20,49	0	20,49	500	20,49	0	20,49	0	20,49	500	20,49	1000	20,49	1500
20,63	0	20,63	0	20,63	500	20,63	0	20,63	0	20,63	0	20,63	1500	20,63	500
20,78	0	20,78	0	20,78	1000	20,78	500	20,78	500	20,78	0	20,78	2000	20,78	2000
20,92	0	20,92	0	20,92	500	20,92	0	20,92	500	20,92	0	20,92	1000	20,92	1000
21,07	0	21,07	0	21,07	1000	21,07	500	21,07	500	21,07	0	21,07	0	21,07	0
21,21	0	21,21	500	21,21	1500	21,21	1000	21,21	0	21,21	0	21,21	2000	21,21	1500
21,36	0	21,36	0	21,36	0	21,36	500	21,36	0	21,36	0	21,36	500	21,36	0
21,5	0	21,5	0	21,5	500	21,5	0	21,5	0	21,5	500	21,5	500	21,5	2500
21,65	0	21,65	0	21,65	1500	21,65	1000	21,65	0	21,65	0	21,65	500	21,65	2000
21,79	0	21,79	0	21,79	0	21,79	0	21,79	0	21,79	0	21,79	500	21,79	1000
21,94	0	21,94	0	21,94	0	21,94	0	21,94	0	21,94	0	21,94	1000	21,94	1500
22,08	0	22,08	0	22,08	0	22,08	0	22,08	1000	22,08	0	22,08	1000	22,08	1500
22,23	0	22,23	0	22,23	1500	22,23	500	22,23	0	22,23	0	22,23	500	22,23	2000
22,37	0	22,37	500	22,37	500	22,37	0	22,37	0	22,37	500	22,37	500	22,37	1000
22,52	0	22,52	0	22,52	500	22,52	0	22,52	0	22,52	500	22,52	500	22,52	500
22,66	0	22,66	500	22,66	0	22,66	0	22,66	500	22,66	0	22,66	0	22,66	2000
22,81	0	22,81	0	22,81	0	22,81	0	22,81	0	22,81	0	22,81	1000	22,81	0
22,95	0	22,95	0	22,95	500	22,95	0	22,95	500	22,95	0	22,95	0	22,95	2000
23,1	0	23,1	500	23,1	0	23,1	1000	23,1	0	23,1	0	23,1	0	23,1	500
23,24	0	23,24	0	23,24	500	23,24	0	23,24	0	23,24	0	23,24	1500	23,24	1500
23,39	500	23,39	0	23,39	1000	23,39	0	23,39	0	23,39	0	23,39	0	23,39	0
23,53	0	23,53	500	23,53	500	23,53	0	23,53	0	23,53	0	23,53	2000	23,53	0
23,68	0	23,68	1000	23,68	0	23,68	0	23,68	0	23,68	0	23,68	1000	23,68	2000
23,82	0	23,82	0	23,82	0	23,82	500	23,82	0	23,82	0	23,82	0	23,82	1000
23,97	0	23,97	0	23,97	500	23,97	500	23,97	500	23,97	0	23,97	0	23,97	0
24,11	0	24,11	0	24,11	0	24,11	500	24,11	0	24,11	0	24,11	1000	24,11	500
24,26	0	24,26	0	24,26	0	24,26	0	24,26	500	24,26	500	24,26	1000	24,26	1500
24,4	0	24,4	0	24,4	0	24,4	0	24,4	500	24,4	0	24,4	500	24,4	500
24,55	500	24,55	0	24,55	0	24,55	0	24,55	0	24,55	0	24,55	1500	24,55	0
24,69	0	24,69	500	24,69	500	24,69	0	24,69	0	24,69	0	24,69	0	24,69	0
24,84	0	24,84	0	24,84	0	24,84	0	24,84	0	24,84	0	24,84	0	24,84	1000
24,98	0	24,98	500	24,98	0	24,98	1000	24,98	0	24,98	0	24,98	1000	24,98	500
25,13	0	25,13	500	25,13	0	25,13	0	25,13	500	25,13	0	25,13	0	25,13	1000
25,27	0	25,27	0	25,27	0	25,27	0	25,27	0	25,27	0	25,27	0	25,27	1000
25,42	0	25,42	0	25,42	0	25,42	0	25,42	0	25,42	0	25,42	0	25,42	500
25,56	0	25,56	500	25,56	0	25,56	0	25,56	0	25,56	500	25,56	500	25,56	500
25,71	0	25,71	0	25,71	500	25,71	1000	25,71	0	25,71	0	25,71	0	25,71	500
25,85	0	25,85	0	25,85	0	25,85	0	25,85	0	25,85	500	25,85	500	25,85	0
26	0	26	0	26	0	26	0	26	0	26	0	26	500	26	0
26,14	0	26,14	0	26,14	0	26,14	500	26,14	0	26,14	0	26,14	0	26,14	500
26,29	0	26,29	0	26,29	0	26,29	0	26,29	0	26,29	0	26,29	0	26,29	500
26,43	0	26,43	0	26,43	500	26,43	0	26,43	0	26,43	0	26,43	0	26,43	0
26,58	0	26,58	0	26,58	500	26,58	500	26,58	0	26,58	0	26,58	1000	26,58	0
26,72	0	26,72	0	26,72	500	26,72	0	26,72	0	26,72	0	26,72	0	26,72	1000
26,87	0	26,87	0	26,87	0	26,87	500	26,87	0	26,87	0	26,87	0	26,87	0
27,01	0	27,01	0	27,01	0	27,01	0	27,01	0	27,01	500	27,01	0	27,01	0
27,16	0	27,16	0	27,16	0	27,16	0	27,16	0	27,16	0	27,16	500	27,16	0
27,3	0	27,3	500	27,3	0	27,3	500	27,3	0	27,3	0	27,3	1000	27,3	0
27,45	0	27,45	0	27,45	0	27,45	0	27,45	0	27,45	0	27,45	0	27,45	0
27,59	0	27,59	0	27,59	500	27,59	0	27,59	0	27,59	0	27,59	0	27,59	0
27,74	0	27,74	0	27,74	0	27,74	0	27,74	0	27,74	0	27,74	500	27,74	0
27,88	0	27,88	0	27,88	0	27,88	0	27,88	500	27,88	0	27,88	0	27,88	0
28,03	0	28,03	0	28,03	500	28,03	500	28,03	0	28,03	0	28,03	0	28,03	0
28,17	0	28,17	0	28,17	0	28,17	0	28,17	0	28,17	0	28,17	0	28,17	0
28,32	0	28,32	0	28,32	0	28,32	500	28,32	0	28,32	0	28,32	500	28,32	0
28,46	0	28,46	0	28,46	0	28,46	0	28,46	0	28,46	0	28,46	0	28,46	0
28,61	0	28,61	0	28,61	500	28,61	0	28,61	0	28,61	500	28,61	0	28,61	500
28,75	0	28,75	0	28,75	0	28,75	0	28,75	0	28,75	0	28,75	0	28,75	500

Bjørnkærvej		Testrig G1		Venusvej		????		Ringkøbingvej		Lindevej		Egsagervej		Søbakkevej	
Multisizer	05-05-2017 14:10	Multisizer	14:13 5 May 2017	Multisizer	14:12 5 May 2017	Multisizer	14:14 5 May 2017	Multisizer	14:15 5 May 2017	Multisizer	14:48 5 May 2017	Multisizer	14:46 5 May 2017	Multisizer	05-05-2017 14:47
File name:	100 um 2__77.#av	File name:	100 um 7__79.#av	File name:	100 um 17__81.#av	File name:	100 um 18__83.#av	File name:	100 um 20__85.#av	File name:	100 um 26__87.#av	File name:	100 um 29__89.#av	File name:	100 um 33__91.#av
Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (	Diff.	Bin Diamete	Diff.
um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number
per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL	
28,9	0	28,9	1000	28,9	0	28,9	0	28,9	500	28,9	0	28,9	0	28,9	0
29,04	0	29,04	0	29,04	500	29,04	0	29,04	500	29,04	0	29,04	1000	29,04	0
29,19	0	29,19	0	29,19	0	29,19	0	29,19	0	29,19	0	29,19	0	29,19	500
29,33	0	29,33	0	29,33	0	29,33	0	29,33	0	29,33	0	29,33	500	29,33	500
29,48	0	29,48	0	29,48	0	29,48	0	29,48	0	29,48	0	29,48	0	29,48	0
29,62	0	29,62	500	29,62	0	29,62	0	29,62	0	29,62	0	29,62	500	29,62	0
29,77	0	29,77	0	29,77	0	29,77	0	29,77	0	29,77	0	29,77	500	29,77	0
29,91	0	29,91	0	29,91	0	29,91	0	29,91	500	29,91	0	29,91	0	29,91	500
30,06	0	30,06	0	30,06	500	30,06	0	30,06	0	30,06	0	30,06	0	30,06	0
30,2	0	30,2	0	30,2	0	30,2	0	30,2	0	30,2	0	30,2	500	30,2	0
30,35	0	30,35	0	30,35	0	30,35	500	30,35	0	30,35	0	30,35	500	30,35	0
30,49	0	30,49	0	30,49	0	30,49	0	30,49	0	30,49	0	30,49	0	30,49	500
30,64	0	30,64	0	30,64	0	30,64	0	30,64	0	30,64	0	30,64	500	30,64	500
30,78	0	30,78	0	30,78	0	30,78	0	30,78	0	30,78	0	30,78	0	30,78	0
30,93	0	30,93	0	30,93	500	30,93	500	30,93	0	30,93	0	30,93	0	30,93	0
31,07	0	31,07	0	31,07	0	31,07	0	31,07	0	31,07	0	31,07	0	31,07	0
31,22	0	31,22	0	31,22	0	31,22	0	31,22	0	31,22	0	31,22	0	31,22	0
31,36	0	31,36	0	31,36	0	31,36	0	31,36	0	31,36	0	31,36	0	31,36	500
31,51	0	31,51	0	31,51	0	31,51	0	31,51	0	31,51	0	31,51	0	31,51	1000
31,65	0	31,65	0	31,65	0	31,65	0	31,65	0	31,65	0	31,65	0	31,65	0
31,8	0	31,8	0	31,8	0	31,8	0	31,8	0	31,8	0	31,8	0	31,8	0
31,94	0	31,94	0	31,94	0	31,94	0	31,94	0	31,94	0	31,94	0	31,94	0
32,09	0	32,09	500	32,09	0	32,09	0	32,09	0	32,09	0	32,09	0	32,09	0
32,23	0	32,23	0	32,23	0	32,23	0	32,23	0	32,23	0	32,23	0	32,23	500
32,38	0	32,38	0	32,38	500	32,38	0	32,38	0	32,38	0	32,38	0	32,38	0
32,52	0	32,52	500	32,52	0	32,52	0	32,52	0	32,52	0	32,52	0	32,52	0
32,67	0	32,67	0	32,67	0	32,67	0	32,67	0	32,67	0	32,67	0	32,67	0
32,81	0	32,81	0	32,81	0	32,81	0	32,81	0	32,81	0	32,81	0	32,81	0
32,96	0	32,96	0	32,96	0	32,96	0	32,96	0	32,96	0	32,96	0	32,96	0
33,1	0	33,1	0	33,1	0	33,1	0	33,1	0	33,1	500	33,1	0	33,1	0
33,25	0	33,25	0	33,25	0	33,25	0	33,25	0	33,25	0	33,25	0	33,25	0
33,39	0	33,39	0	33,39	0	33,39	0	33,39	0	33,39	0	33,39	0	33,39	0
33,54	0	33,54	0	33,54	0	33,54	0	33,54	0	33,54	0	33,54	0	33,54	0
33,68	0	33,68	0	33,68	500	33,68	0	33,68	0	33,68	0	33,68	0	33,68	0
33,83	0	33,83	0	33,83	500	33,83	0	33,83	0	33,83	0	33,83	0	33,83	0
33,97	0	33,97	0	33,97	0	33,97	500	33,97	0	33,97	0	33,97	0	33,97	0
34,12	0	34,12	500	34,12	0	34,12	0	34,12	0	34,12	0	34,12	500	34,12	0
34,26	0	34,26	0	34,26	0	34,26	500	34,26	0	34,26	0	34,26	0	34,26	0
34,41	0	34,41	0	34,41	0	34,41	0	34,41	0	34,41	0	34,41	0	34,41	0
34,55	0	34,55	0	34,55	0	34,55	500	34,55	0	34,55	0	34,55	500	34,55	0
34,7	0	34,7	0	34,7	0	34,7	0	34,7	0	34,7	0	34,7	500	34,7	0
34,84	0	34,84	0	34,84	0	34,84	0	34,84	0	34,84	0	34,84	0	34,84	0
34,99	0	34,99	0	34,99	0	34,99	0	34,99	0	34,99	0	34,99	500	34,99	0
35,13	0	35,13	0	35,13	500	35,13	500	35,13	0	35,13	500	35,13	0	35,13	500
35,28	0	35,28	0	35,28	500	35,28	0	35,28	0	35,28	0	35,28	0	35,28	0
35,42	0	35,42	0	35,42	0	35,42	0	35,42	0	35,42	0	35,42	0	35,42	0
35,57	0	35,57	0	35,57	0	35,57	0	35,57	0	35,57	0	35,57	0	35,57	0
35,71	0	35,71	500	35,71	0	35,71	0	35,71	0	35,71	0	35,71	0	35,71	0
35,86	0	35,86	0	35,86	0	35,86	0	35,86	0	35,86	0	35,86	0	35,86	0
36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0
36,15	0	36,15	0	36,15	0	36,15	0	36,15	0	36,15	0	36,15	0	36,15	0
36,29	0	36,29	0	36,29	0	36,29	0	36,29	0	36,29	0	36,29	0	36,29	0
36,44	0	36,44	0	36,44	0	36,44	0	36,44	0	36,44	0	36,44	0	36,44	500
36,58	0	36,58	0	36,58	0	36,58	0	36,58	0	36,58	0	36,58	0	36,58	0
36,73	0	36,73	0	36,73	0	36,73	0	36,73	0	36,73	0	36,73	0	36,73	0
36,87	0	36,87	0	36,87	0	36,87	0	36,87	0	36,87	0	36,87	0	36,87	0
37,02	0	37,02	0	37,02	500	37,02	0	37,02	0	37,02	0	37,02	0	37,02	0
37,16	0	37,16	0	37,16	0	37,16	0	37,16	0	37,16	0	37,16	0	37,16	0
37,31	0	37,31	0	37,31	0	37,31	0	37,31	0	37,31	0	37,31	0	37,31	0
37,45	0	37,45	0	37,45	500	37,45	500	37,45	0	37,45	500	37,45	0	37,45	500
37,6	0	37,6	0	37,6	0	37,6	0	37,6	0	37,6	0	37,6	0	37,6	0
37,74	0	37,74	0	37,74	500	37,74	0	37,74	0	37,74	0	37,74	0	37,74	0

Bjørnkærvej		Testrig G1		Venusvej		????		Ringkøbingvej		Lindevej		Egsagervej		Søbakkevej	
Multisizer	05-05-2017 14:10	Multisizer	14:13 5 May 2017	Multisizer	14:12 5 May 2017	Multisizer	14:14 5 May 2017	Multisizer	14:15 5 May 2017	Multisizer	14:48 5 May 2017	Multisizer	14:46 5 May 2017	Multisizer	05-05-2017 14:47
File name:	100 um 2__77.#av	File name:	100 um 7__79.#av	File name:	100 um 17__81.#av	File name:	100 um 18__83.#av	File name:	100 um 20__85.#av	File name:	100 um 26__87.#av	File name:	100 um 29__89.#av	File name:	100 um 33__91.#av
Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diameter (Center)	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diamete	Diff.	Bin Diameter (	Diff.	Bin Diamete	Diff.
um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number	um	Number
per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL		per mL	
37,89	0	37,89	0	37,89	0	37,89	0	37,89	0	37,89	0	37,89	0	37,89	0
38,03	0	38,03	0	38,03	500	38,03	0	38,03	0	38,03	0	38,03	0	38,03	500
38,18	0	38,18	0	38,18	0	38,18	0	38,18	0	38,18	0	38,18	0	38,18	0
38,32	0	38,32	0	38,32	0	38,32	0	38,32	0	38,32	0	38,32	0	38,32	0
38,47	0	38,47	0	38,47	0	38,47	0	38,47	0	38,47	0	38,47	0	38,47	0
38,61	0	38,61	0	38,61	0	38,61	0	38,61	0	38,61	0	38,61	0	38,61	0
38,76	0	38,76	0	38,76	0	38,76	0	38,76	0	38,76	500	38,76	0	38,76	0
38,9	0	38,9	0	38,9	0	38,9	0	38,9	0	38,9	0	38,9	0	38,9	0
39,05	0	39,05	0	39,05	0	39,05	0	39,05	0	39,05	0	39,05	0	39,05	0
39,19	0	39,19	0	39,19	0	39,19	0	39,19	0	39,19	0	39,19	0	39,19	0
39,34	0	39,34	0	39,34	0	39,34	0	39,34	0	39,34	0	39,34	0	39,34	0
39,48	0	39,48	0	39,48	0	39,48	0	39,48	0	39,48	0	39,48	0	39,48	0
39,63	0	39,63	0	39,63	0	39,63	0	39,63	0	39,63	0	39,63	0	39,63	0
39,77	0	39,77	0	39,77	500	39,77	0	39,77	0	39,77	0	39,77	0	39,77	0
39,92	0	39,92	0	39,92	0	39,92	0	39,92	0	39,92	0	39,92	0	39,92	0
40,06	0	40,06	0	40,06	0	40,06	0	40,06	0	40,06	0	40,06	0	40,06	0
40,21	0	40,21	0	40,21	0	40,21	0	40,21	0	40,21	0	40,21	0	40,21	0
40,35	0	40,35	0	40,35	0	40,35	0	40,35	0	40,35	0	40,35	0	40,35	0
40,5	0	40,5	0	40,5	0	40,5	0	40,5	0	40,5	0	40,5	0	40,5	0
40,64	0	40,64	0	40,64	0	40,64	0	40,64	0	40,64	0	40,64	500	40,64	0
40,79	0	40,79	0	40,79	0	40,79	0	40,79	0	40,79	0	40,79	0	40,79	0
40,93	0	40,93	0	40,93	0	40,93	0	40,93	0	40,93	0	40,93	0	40,93	0
41,08	0	41,08	0	41,08	0	41,08	0	41,08	0	41,08	0	41,08	0	41,08	0
41,22	0	41,22	0	41,22	0	41,22	0	41,22	0	41,22	0	41,22	0	41,22	0
41,37	0	41,37	0	41,37	0	41,37	0	41,37	0	41,37	0	41,37	0	41,37	0
41,51	0	41,51	0	41,51	0	41,51	0	41,51	0	41,51	0	41,51	0	41,51	0
41,66	0	41,66	0	41,66	0	41,66	0	41,66	0	41,66	0	41,66	0	41,66	0
41,8	0	41,8	0	41,8	0	41,8	0	41,8	0	41,8	0	41,8	0	41,8	0
41,95	0	41,95	0	41,95	0	41,95	0	41,95	0	41,95	0	41,95	0	41,95	0
42,09	0	42,09	0	42,09	0	42,09	0	42,09	0	42,09	0	42,09	0	42,09	0
42,24	0	42,24	0	42,24	0	42,24	0	42,24	0	42,24	0	42,24	0	42,24	0
42,38	0	42,38	0	42,38	0	42,38	0	42,38	0	42,38	0	42,38	0	42,38	0
42,53	0	42,53	0	42,53	0	42,53	0	42,53	0	42,53	0	42,53	0	42,53	0
42,67	0	42,67	0	42,67	0	42,67	0	42,67	0	42,67	0	42,67	0	42,67	0
42,82	0	42,82	0	42,82	0	42,82	0	42,82	0	42,82	0	42,82	0	42,82	0
42,96	0	42,96	0	42,96	0	42,96	0	42,96	0	42,96	0	42,96	0	42,96	0
43,11	0	43,11	0	43,11	0	43,11	0	43,11	0	43,11	0	43,11	500	43,11	0
43,25	0	43,25	0	43,25	0	43,25	0	43,25	0	43,25	0	43,25	0	43,25	0
43,4	0	43,4	0	43,4	0	43,4	0	43,4	0	43,4	0	43,4	0	43,4	0
43,54	0	43,54	0	43,54	0	43,54	0	43,54	0	43,54	0	43,54	0	43,54	0
43,69	0	43,69	0	43,69	0	43,69	0	43,69	0	43,69	0	43,69	0	43,69	0
43,83	0	43,83	0	43,83	0	43,83	0	43,83	0	43,83	0	43,83	0	43,83	0
43,98	0	43,98	0	43,98	0	43,98	0	43,98	0	43,98	0	43,98	0	43,98	0
44,12	0	44,12	0	44,12	0	44,12	0	44,12	0	44,12	0	44,12	0	44,12	0
44,27	0	44,27	0	44,27	0	44,27	0	44,27	0	44,27	0	44,27	0	44,27	0
44,41	0	44,41	0	44,41	0	44,41	0	44,41	500	44,41	0	44,41	0	44,41	0
44,56	0	44,56	0	44,56	0	44,56	0	44,56	0	44,56	0	44,56	0	44,56	0
44,7	0	44,7	0	44,7	0	44,7	0	44,7	0	44,7	0	44,7	0	44,7	0
44,85	0	44,85	0	44,85	0	44,85	0	44,85	0	44,85	0	44,85	0	44,85	0
44,99	0	44,99	0	44,99	0	44,99	0	44,99	0	44,99	0	44,99	0	44,99	0
45,14	0	45,14	0	45,14	0	45,14	0	45,14	0	45,14	0	45,14	0	45,14	0
45,28	0	45,28	0	45,28	0	45,28	0	45,28	0	45,28	0	45,28	0	45,28	0
45,43	0	45,43	0	45,43	0	45,43	0	45,43	0	45,43	0	45,43	0	45,43	0
45,57	0	45,57	0	45,57	0	45,57	0	45,57	0	45,57	0	45,57	0	45,57	0
45,72	0	45,72	0	45,72	500	45,72	0	45,72	0	45,72	0	45,72	0	45,72	0
45,86	0	45,86	0	45,86	0	45,86	0	45,86	0	45,86	0	45,86	0	45,86	0
46,01	0	46,01	0	46,01	0	46,01	0	46,01	0	46,01	0	46,01	0	46,01	0
46,15	0	46,15	0	46,15	0	46,15	0	46,15	0	46,15	0	46,15	0	46,15	0
46,3	0	46,3	0	46,3	0	46,3	0	46,3	0	46,3	0	46,3	0	46,3	0
46,44	0	46,44	0	46,44	0	46,44	0	46,44	0	46,44	0	46,44	0	46,44	0
46,59	0	46,59	0	46,59	0	46,59	0	46,59	0	46,59	0	46,59	0	46,59	0
46,73	0	46,73	0	46,73	0	46,73	0	46,73	0	46,73	0	46,73	0	46,73	0

Side 6 af 7

Bjørnkærvej			Testrig G1			Venusvej			????			Ringkøbingvej			Lindevej			Egsagervej			Søbakkevej	
Multisizer	05-05-2017 14:10		Multisizer	14:13 5 May 2017		Multisizer	14:12 5 May 2017		Multisizer	14:14 5 May 2017		Multisizer	14:15 5 May 2017		Multisizer	14:48 5 May 2017		Multisizer	14:46 5 May 2017		Multisizer	05-05-2017 14:47
File name:	100 um 2__77.#av		File name:	100 um 7__79.#av		File name:	100 um 17__81.#av		File name:	100 um 18__83.#av		File name:	100 um 20__85.#av		File name:	100 um 26__87.#av		File name:	100 um 29__89.#av		File name:	100 um 33__91.#av
Bin Diameter (Center)	Diff.		Bin Diamete	Diff.		Bin Diameter (Center)	Diff.		Bin Diameter (Center)	Diff.		Bin Diamete	Diff.		Bin Diamete	Diff.		Bin Diameter (	Diff.		Bin Diamete	Diff.
um	Number		um	Number		um	Number		um	Number		um	Number		um	Number		um	Number		um	Number
	per mL			per mL			per mL			per mL			per mL			per mL			per mL			per mL
55,87	0		55,87	0		55,87	0		55,87	0		55,87	0		55,87	0		55,87	0		55,87	0
56,01	0		56,01	0		56,01	0		56,01	0		56,01	0		56,01	0		56,01	0		56,01	0
56,16	0		56,16	0		56,16	0		56,16	0		56,16	0		56,16	0		56,16	0		56,16	0
56,3	0		56,3	0		56,3	0		56,3	0		56,3	0		56,3	0		56,3	0		56,3	0
56,45	0		56,45	0		56,45	0		56,45	0		56,45	0		56,45	0		56,45	0		56,45	0
56,59	0		56,59	0		56,59	0		56,59	0		56,59	0		56,59	0		56,59	0		56,59	0
56,74	0		56,74	0		56,74	0		56,74	0		56,74	0		56,74	0		56,74	0		56,74	0
56,88	0		56,88	0		56,88	0		56,88	0		56,88	0		56,88	0		56,88	0		56,88	0
57,03	0		57,03	0		57,03	0		57,03	0		57,03	0		57,03	0		57,03	0		57,03	0
57,17	0		57,17	0		57,17	0		57,17	0		57,17	0		57,17	0		57,17	0		57,17	0
57,32	0		57,32	0		57,32	0		57,32	0		57,32	0		57,32	0		57,32	0		57,32	0
57,46	0		57,46	0		57,46	0		57,46	0		57,46	0		57,46	0		57,46	0		57,46	0
57,61	0		57,61	0		57,61	0		57,61	0		57,61	0		57,61	0		57,61	0		57,61	0
57,75	0		57,75	0		57,75	0		57,75	0		57,75	0		57,75	0		57,75	0		57,75	0
57,9	0		57,9	0		57,9	0		57,9	0		57,9	0		57,9	0		57,9	0		57,9	0
58,04	0		58,04	0		58,04	0		58,04	0		58,04	0		58,04	0		58,04	0		58,04	0
58,19	0		58,19	0		58,19	0		58,19	0		58,19	0		58,19	0		58,19	0		58,19	0
58,33	0		58,33	0		58,33	0		58,33	0		58,33	0		58,33	0		58,33	0		58,33	0
58,48	0		58,48	0		58,48	0		58,48	0		58,48	0		58,48	0		58,48	0		58,48	0
58,62	0		58,62	0		58,62	0		58,62	0		58,62	0		58,62	0		58,62	0		58,62	0
58,77	0		58,77	0		58,77	0		58,77	0		58,77	0		58,77	0		58,77	0		58,77	0
58,91	0		58,91	0		58,91	0		58,91	0		58,91	0		58,91	0		58,91	0		58,91	0
59,06	0		59,06	0		59,06	0		59,06	0		59,06	0		59,06	0		59,06	0		59,06	0
59,2	0		59,2	0		59,2	0		59,2	0		59,2	0		59,2	0		59,2	0		59,2	0
59,35	0		59,35	0		59,35	0		59,35	0		59,35	0		59,35	0		59,35	0		59,35	0
59,49	0		59,49	0		59,49	0		59,49	0		59,49	0		59,49	0		59,49	0		59,49	0
59,64	0		59,64	0		59,64	0		59,64	0		59,64	0		59,64	0		59,64	0		59,64	0
59,78	0		59,78	0		59,78	0		59,78	0		59,78	0		59,78	0		59,78	0		59,78	0
59,93	0		59,93	0		59,93	0		59,93	0		59,93	0		59,93	0		59,93	0		59,93	0

Bilag 6. Oversigt over ATP resultater

ICE PIGGING PROJEKT						Coliforme	E. Coli	Kimtal ved 22°C	Kimtal ved 37°C	Inddampningsrest	Konduktivitet (Ledningsevne)	Turbiditet	NVOC, ikke flygt.org.carbon	TOC, totalt organisk kulstof	VOC, flygtigt org. kulstof	Aluminium (Al)	Arsen (As)	Calcium (Ca)	Jern (Fe)	Mangan (Mn)	
Krav til indgang ejendom/ Forbrugers taphane						< 1	< 1	200	20	1500/1500	>30/>30 vej/l.	1/1	4/4	?	?	100/200	5/10	Bør ikke overstige 200	0,2/02	0,05/0,05	Prøvetager /bemærkninger
LOKALITET	Opstrøms / I / Nedstrøms	Dato	Kl.	Prøvested	Bemærkninger	MPN/100 ml	MPN/100 ml	CFU/ml	CFU/ml	mg/l	mS/m	FTU	mg C/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
ULLERUPDALSVEJ	I	24-04-2017	11:54	Ullerupdalsvej	vand lige før is	<1	<1	240	25			86							23		
	I	24-04-2017	12:01	Ullerupdalsvej	Vand lige efter is	<1	<1	180	20												
	I	26-04-2017	10:00	Ullerupdalsvej	vand pigging +2 dage	<1	<1	5	<1			0,34							<0,01		
	I	05-05-2017	11:05	Ullerupdalsvej	vand pigging +11 dage	<1	<1	3	<1												
	I	09-05-2017	11:00	Ullerupdalsvej	vand pigging +15 dage	<1	<1	5	<1												
	I	10-05-2017	13:58	Ullerupdalsvej	vand pigging +16 dage	<1	<1	16	<1												
BJØRNKÆRVEJ	I	15-05-2017	12:40	Ullerupdalsvej	vand pigging +21 dage							0,1							<0,01		
	I	25-04-2017		Bjørnkærvej	Direkte boring	<1	<1	250	36												
	I	25-04-2017		Bjørnkærvej	vand lige før is	<1	<1	100	12			12							1,6		
	I	25-04-2017		Bjørnkærvej	Bjørnkærvej -flush	<1	<1	220	25												
	I	25-04-2017		Bjørnkærvej	Under - 3	<1	<1	3000	310	21000		210	7,5			44	80	95	52	0,25	
	I	25-04-2017		Bjørnkærvej	Under - 2	<1	<1	3000	530	65000		420	12			44	94	95	55	0,16	
VENUSVEJ	I	26-04-2017	14:00	Bjørnkærvej	vand pigging +1 dag	<1	<1	2	<1			14							1,5		
	I	28-04-2017	09:54	Bjørnkærvej	vand pigging +3 dage	<1	<1	<1	<1												
	I	02-05-2017	10:48	Bjørnkærvej	vand pigging + 7 dage	<1	<1	<1	<1												
	I	26-04-2017		Venusvej	vand lige før is	<1	<1	24	<1			3,8							2,9		
	I	26-04-2017		Venusvej	Under - 3	<1	<1	71	<1	37000	5700	870	40			4300	530	160	510	150	
	I	26-04-2017		Venusvej	Under - 2	<1	<1	89	<1	23000	4700	2900	54			4900	710	180	670	180	
	I	26-04-2017		Venusvej	Efter is	<1	<1	64	<1		61	0,76							0,27		
	?	27-04-2017	14:30	Neptunvej								0,13							<0,01		
	I	05-05-2017	11:05	Venusvej	vand pigging + 9 dage	<1	<1	15	<1												
	I	09-05-2017	10:47	Venusvej	vand pigging + 13 dage	<1	<1	<1	<1												
	?	15-05-2017	12:00	Jupitervej								0,12							<0,01		
	I	15-05-2017	12:25	Venusvej	vand pigging + 19 dage							0,14							<0,01		
RINGKØBINGVEJ	opstrøms	27-04-2017	08:23	Brandstander Ringkøbingvej 12	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	90	9												
	I	27-04-2017	08:23	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	71	17												
	I	27-04-2017	11:15	Brandstander Silkeborgvej 44	Ice pigging	<1	<1	62	3	13000	2100	360	3,5	3,5	< 0,5	98	170	84	160	13	TJE
	I	27-04-2017	11:32	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter skylning	<1	<1	20	<1												
	opstrøms	27-04-2017	11:54	Brandstander Ringkøbinggade 12	Brandhane efter skylning	<1	<1	7	<1												
	opstrøms	04-05-2017	09:30	Brandstander Ringkøbingvej 12	Brandhane efter skylning	<1	<1	<1	<1												
	I	04-05-2017	08:53	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter skylning	<1	<1	48	8										0,099		
	I	10-05-2017	10:52	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	130	<1			1,2							0,089		
	I	16-05-2017	10:30	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	59	2			0,44							0,2		
	I	18-05-2017	09:50	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	85	13			-							0,063		
	I	24-05-2017	10:50	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	115	<1			1,4							0,084		
	I	30-05-2017	09:05	Brandstander Silkeborgvej 44	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	31	<1			0,47							0,098		Efter 15 min. Skyl ses meget okkerfarvet vand i 2-3 min.
	opstrøms	27-04-2017	07:28	Brandstander lindevej 6	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	<1	11												
	I	27-04-2017	07:40	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	18	4												
	LINDEVEJ	I	27-04-2017	13:01	Brandstander Irisvej 9	Ice pigging	<1	<1	780	5	20000	3300	260	4,6	4,6	< 0,5	95	110	100	56	10
I		27-04-2017	14:01	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter skylning	<1	<1	330	5												
opstrøms		27-04-2017	14:10	Brandstander Lindevej 6	Brandhane efter skylning	<1	<1	10	<1												
I		04-05-2017	08:15	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter skylning	<1	<1	20	2										0,72		
opstrøms		04-05-2017	07:35	Brandstander lindevej 6	Brandhane efter skylning	<1	<1	4	<1										0,012		
I		10-05-2017	10:00	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	230	18			0,47							0,1		
I		16-05-2017	09:40	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	66	7			0,35							0,059		
I		18-05-2017	09:05	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	110	3			-							0,1		
I		24-05-2017	10:07	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	120	2			0,46							0,16		Meget vejarbejde i området, ved ikke om det berører vandkvalitet?
I		30-05-2017	12:27	Brandstander Irisvej 9	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	110	7			0,22							0,029		
opstrøms		28-04-2017	08:33	Brandstander Egsagervej ind	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	51	4												
I		28-04-2017	08:40	Brandstander Vestersøgårdsvej ud	Brandhane efter ½ t skylning	<1	<1	20	<1												
I		28-04-2017	10:05	Brandstander Vestersøgårdsvej ud	Ice pigging	<1	<1	25	1	44000	6700	130	7,1	7,1	< 0,5	1600	570	140	230	160	KVJ
I		28-04-2017	10:44	Brandstander Vestersøgårdsvej ud	Brandhane efter skylning	<1	<1	14	<1												
opstrøms		28-04-2017	10:23	Brandstander Egsagervej ind	Brandhane efter skylning	<1	<1	170	7												
SØBAKKEVEJ	opstrøms	04-05-2017	12:25	Brandstander egsagervej 16	Brandhane efter skylning	<1	<1	35	5										0,012		
	I	04-05-2017	11:45	Brandstander Vester Søgårdsvej 18	Brandhane efter skylning	<1	<1	240	3					</							

Bilag 7. Wavin rapport rørenes tilstand

Termisk stabilitet, smelteindex og densitet på PE og PP

Emne: 110 SDR 29 PE 100 blå – Ice pigged rør fra Trefor						
Vare nr.:		Prodserie nr.:		Sags nr.:		
Råvare 1:		Batch nr.:		Idoseret batch nr.:		
Råvare 2:		Batch nr.:		TT:	BRT:	PVT: AT:
		Dato 15-6-2017		Sign. OR		

Mettler toledo DSC 820	Termisk stabilitet (OIT)						sæt kryds		
	200 °C			Standard: DS/EN ISO 11357-6			X		
	210 °C			Standard: DS/EN ISO 11357-6					
	Prøve nr.			1		2		3	
				råvare	emne	råvare	emne	råvare	emne
	Resultat i minutter				47,62		46,14		48,74
	Krav i minutter			≥ 20		≥ 20		≥ 20	
Godkendt X		Ikke godkendt		Dato 20-6-2017		Sign. OR			

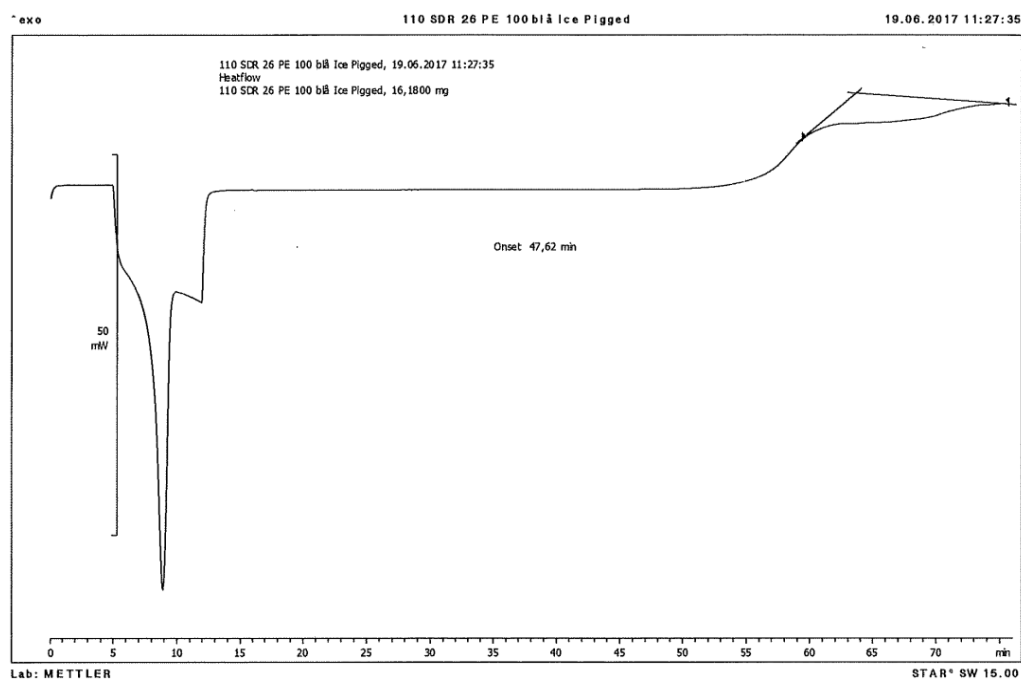
IPT 1267 MVR/MFR tester	Smelteindex (MFR)						sæt kryds		
	190 °C	5,0 kg	10 min.	Standard: EN ISO 1133					
	190 °C	2,16 kg	10 min.	Standard: EN ISO 1133					
	230 °C	2,16 kg	10 min.	Standard: EN ISO 1133					
	Prøve nr.			1		2		3	
				råvare	emne	råvare	emne	råvare	emne
	Resultat i g/10 min.								
	Forskel på råvare og emne i %								
	Krav i g/10 min.			≤		≤		≤	
Godkendt		Ikke godkendt		Dato		Sign.			

METODE A	Densitet		Emne			
	Resultat	g/cm ³			Standard : ISO 1183-1	
	Krav	g/cm ³				
	Godkendt		Ikke godkendt		Dato	Sign.

Author: METTLER METTLER
Date: 20-06-2017
Database: Nordisk Wavin A/S: METTLER

METTLER TOLEDO

Evaluation: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 11:27:35



Curve: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 11:27:35

Sample: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 16,1800 mg

Module: DSC820_ID34_700, 14.11.2012 12:35:01

Sample Holder: Aluminum Standard 40ul
Weight : 0
Material: Aluminium

Method: EN 728 200° 60 min_2012 eval
dt 1,00 s
[1] 60,0 °C, 5,00 min, N2 50,0 ml/min
[2] 60,0..200,0 °C, 20,00 K/min, N2 50,0 ml/min
[3] 200,0 °C, 4,00 min, N2 50,0 ml/min
[4] 200,0 °C, 60,00 min, O2 50,0 ml/min
Synchronization enabled

User: METTLER

Customer:

Order number:

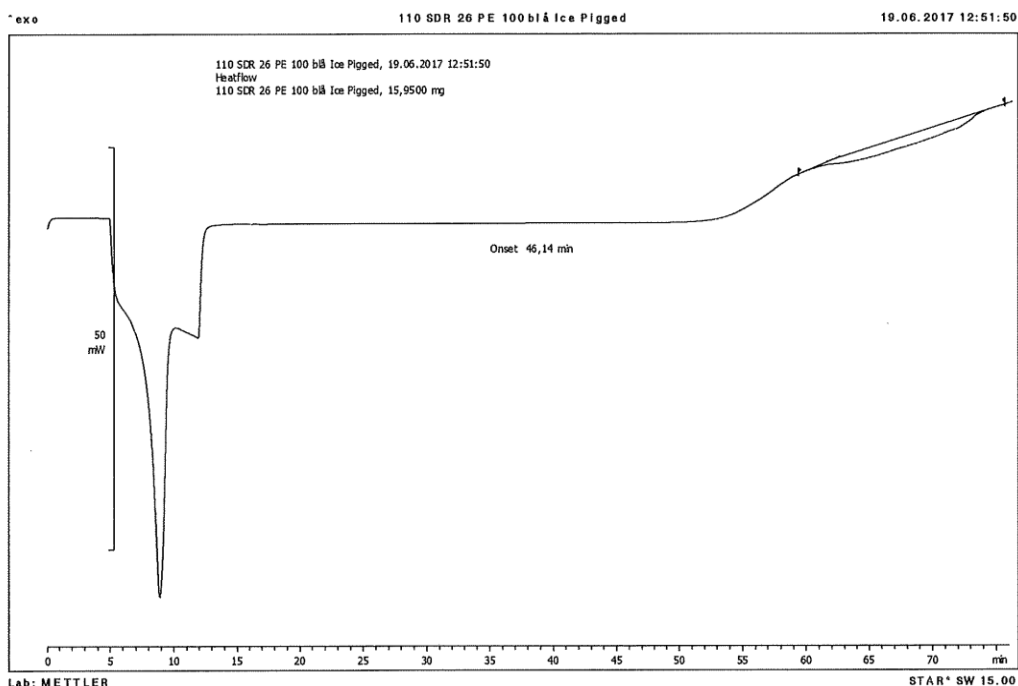
Experiment name: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 10:10:22

Author: METTLER METTLER
Date: 20-06-2017
Database: Nordisk Wavin A/S: METTLER

METTLER TOLEDO

Results: Onset 47,62 min

Evaluation: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 12:51:50



Curve: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 12:51:50

Sample: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 15,9500 mg

Module: DSC820_ID34_700, 14.11.2012 12:35:01

Sample Holder: Aluminum Standard 40ul
Weight : 0
Material: Aluminium

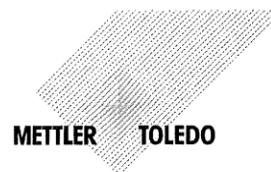
Method: EN 728 200° 60 min_2012 eval
dt 1,00 s
[1] 60,0 °C, 5,00 min, N2 50,0 ml/min
[2] 60,0..200,0 °C, 20,00 K/min, N2 50,0 ml/min
[3] 200,0 °C, 4,00 min, N2 50,0 ml/min
[4] 200,0 °C, 60,00 min, O2 50,0 ml/min
Synchronization enabled

User: METTLER

Customer:

Order number:

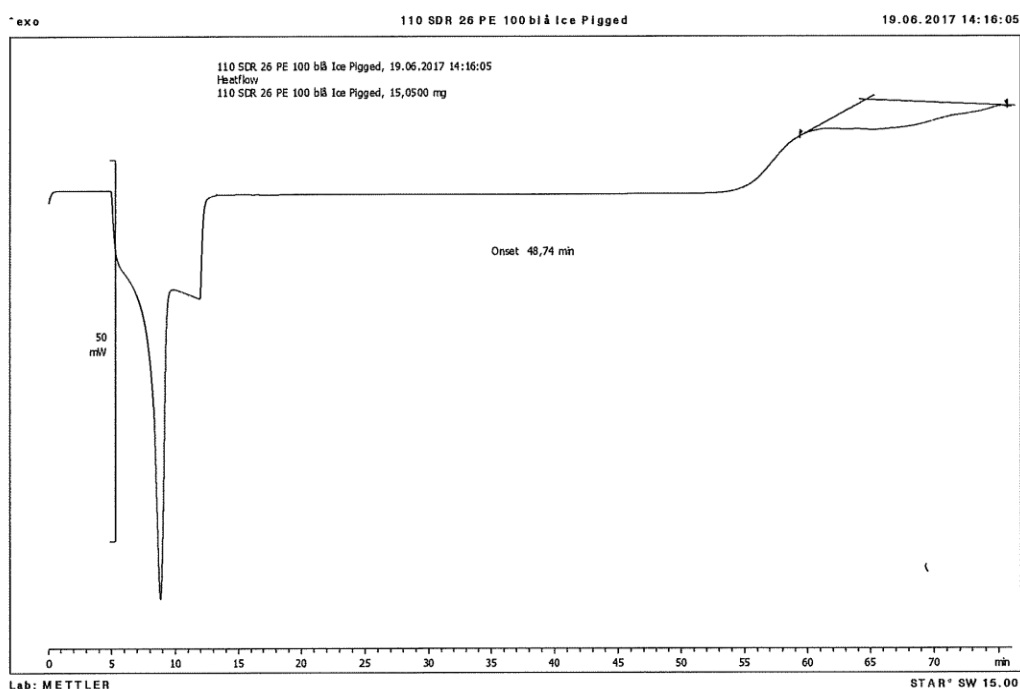
Author: METTLER METTLER
Date: 20-06-2017
Database: Nordisk Wavin A/S: METTLER



Experiment name: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 10:10:36

Results: Onset 46,14 min

Evaluation: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 14:16:05



Curve: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 14:16:05

Sample: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 15,0500 mg

Module: DSC820_ID34_700, 14.11.2012 12:35:01

Sample Holder: Aluminum Standard 40ul

Weight : 0

Material: Aluminium

Method: EN 728 200° 60 min_2012 eval

dt 1,00 s

[1] 60,0 °C, 5,00 min, N2 50,0 ml/min

[2] 60,0..200,0 °C, 20,00 K/min, N2 50,0 ml/min

[3] 200,0 °C, 4,00 min, N2 50,0 ml/min

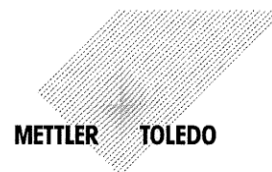
[4] 200,0 °C, 60,00 min, O2 50,0 ml/min

Synchronization enabled

User: METTLER

Customer:

Author: METTLER METTLER
Date: 20-06-2017
Database: Nordisk Wavin A/S: METTLER



Order number:

Experiment name: 110 SDR 26 PE 100 blå Ice Pigged, 19.06.2017 10:10:48

Results: Onset 48,74 min

Emne:	110 SDR 26 PE 100 opgravede rør	BRT	
Varenr.:		PVT	
Råvare:		AT	
Farve:	Blå	TT	
Prod.ordre nr.:		PE80	
Udt. Dato:	12-6-2017	PE100	X
Rekv.nr.:		PP	
Oprettet af:	OR	PVC	
Produktions sted:	21	PE-X	
Evt. svejsning:		Muffe-stuk.	

Kar nr.	Prøvestand nr.	Temperatur		Test tid			Manometer	
1	22	80	° C	165	t			
Prøve nr.	Diameter $\bar{x}$ (afrundet til nærmeste 0,1 mm)	Godstykkeelse mm	Ringspænding Mpa	Tryk bar (Tryk beregnet iht. DS/EN ISO 1167-1)	Tolerance bar (= +2% af tryk)	Tolerance bar (= -1% af tryk)	Start dato	Tid timer
1 Ice pigged	110,6	4,43	5,4	4,51	0,09	0,05	14-06-2017	165

Kar nr.	Prøvestand nr.	Temperatur		Test tid			Manometer	
1	32	80	° C	165	t			
Prøve nr.	Diameter $\bar{x}$ (afrundet til nærmeste 0,1 mm)	Godstykkeelse mm	Ringspænding Mpa	Tryk bar (Tryk beregnet iht. DS/EN ISO 1167-1)	Tolerance bar (= +2% af tryk)	Tolerance bar (= -1% af tryk)	Start dato	Tid timer
2	110,6	4,42	5,4	4,50	0,09	0,04	14-06-2017	165

Anvendt måleværktøjsnr.:	1638	1221	OR
	Cirkometer/skydelære	Godsur	Opmålt af (sign.)

Bemærkninger:

X	21-6-2017	OR
OK	Dato	Sign. Q

Udregning af tryk:

$$p = 10\delta \times \frac{2e}{d_e - e}$$

hvor

 δ

er den ringspænding, der skal påføres emnet, af det påførte tryk; i Mpa

 d_e

er den målte gennemsnitlige udvendige diameter på testemnet, i millimeter;

 e

er den målte minimum godstykkeelse på den frie længde på testemnet, i millimeter.

St. min. godstykkeelse: < 10 mm rund til nærmeste 0,05 mm & > 10 mm rund til nærmeste 0,1 mm

Ice Pigging and Beyond

Ice Pigging er en innovativ teknik til rensning af den indvendige side af rør, hvor rensesfunktionen er baseret på fysiske principper. Teknikken blev introduceret i litteraturen i 2002 efter patentering i 2001 og gennemførelse af indledende forsøg i laboratoriet på University of Bristol i England. I denne rapport dokumenteres den første anvendelse af Ice Pigging i den danske drikkevandsbranche. Projektarbejdet har inkluderet undersøgelser i fuldskala såvel som pilot-skala.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk