

Ice Pigging: Ny metode til rensning af drikkevandsledninger

Vores drikkevand pumpes fra landets vandværker og ud til hver enkelt husstand via tusindvis af kilometer nedgravede vandledninger. Men hvor rene er disse rør egentlig? Vandforsyninger erfarer, at rør over tid kan samle store mængder skidt. En ny, innovativ metode ved navn "Ice Pigging" anvender slush-ice til rensning af rørene. Et netop afsluttet projekt har demonstreret rensning af drikkevandsledninger på 7 lokaliteter i Trekantsområdet og Aarhus. Metoden er effektiv og hurtig og åbner samtidig et vindue til en ny forståelse af vores drikkevandsledninger.

LOREN RAMSAY, GUDMUNDUR
ANDRESSON, ANNE BJERRUM JUHL &
RASMUS BÆRENTZEN

Den gode ide

En gang i mellem er der en ide, der er så indlysende, at man ærgrer sig over, at man ikke selv fik den! Sådan en ide fik et hold forskere på Bristol University i Storbritanien i starten af 2000'erne /1/ – en ide som siden 2010 er blevet udfoldet kommercielt. Ideen er at rense drikkevandsledninger ved at pumpe slush-ice (der dog er baseret på saltvand og ikke sukervand) ind i ledninger og at lade ledningernes normale vandtryk skubbe isen frem. Efter en tur på fx en kilometer, fjernes isen igen gennem en brandhane eller lignende, sammen med al det materiale, som isen har opsamlet undervejs, se Fig. 1.

Fordelen med slush-ice i forhold til en almindelig svamp eller en hård plastik gris er, at isen kan forme sig frit og dermed klare bøjninger, ventiler og skift af rørdimensioner uden at sætte sig fast. Hvis det værste skulle ske, at isen alligevel sætter sig fast, ventes der blot et par timer indtil den smelter. Ice Pigging-metoden har også den fordel, at den er langt mere effektiv og hurtigere end skylning med vand,

der er den mest anvendte metode i Danmark.

Ideen, som er patenteret af Suez, er i 2017 blevet afprøvet for første gang i Danmark. Projektet, blev gennemført som et demonstrationsprojekt af Envidan, TREFOR Vand, Aarhus Vand, Suez og VIA University College og blev støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP).

Drikkevandsledninger i Danmark

Der findes rigtig mange kilometer drikkevandsledninger i Danmark. Flere af de større danske vandforsyninger har over 1.000 km vandledninger, og tilsammen vil de danske vandledninger kunne strække sig længere end rundt om kloden. Derfor har forsyningsbranchen meget fokus på asset-management i forbindelse med vandledninger. Og selv om Danmark har opnået et af verdens absolut laveste vandtab fra vandledninger, har der været begrænset fokus på at holde disse vandledninger rene.

Der er særligt to forhold i Danmark, der gør vandledningernes renhed særlig vigtig. For det første, er dansk drikkevand udelukkende baseret på grundvand, der ofte indeholder mere jern og calcium end overfladevand. Hermed er der større risiko for at danske vandledninger belastes med okker- og kalkpartikler. For det andet, bruger vi ikke chloring i dansk



Figur 1. Udledning af beskidt slush-ice i fuldskala demonstration.

drikkevand. Hermed kan det akkumulerede materiale i vandledninger give anledning til forringelse af drikkevandets mikrobiologiske kvalitet.

Vandledninger i Danmark er fremstillet af flere materialer. Nye rør er typisk lavet af PE, mens ældre rør, der vil udgøre en del af distri-

Tabel 1. Oversigt over demonstrationslokaliteter og det fjernede materiale.

Lokalitet	By	Rørlængde	Diameter	Materiale	Fjernet mængde	Isvolumen	Vandforbrug
		m	mm		kg/km	m ³	x rør vol.
Ullerupdalvej	Fredericia	60	Ø 200	PVC	tabt	2	6,3
Bjørnkærvej	Vejle	144	Ø 160	PEK	27	1	3,8
Venuusvej	Fredericia	350	Ø 160	PVC	53	2	1,7
Rinkøbingvej	Aarhus	590	Ø 100	Støbejern	6	1,1	2,2
Lindevej	Aarhus	650	Ø 80/100	Støbejern	tabt	0,9	-
Egsagervej	Aarhus	650	Ø 110	PVC	14	1,2	2,9
Søbakkevej	Tilst	756	Ø 90	PVC	8	0,9	2,4

butionsnettet i mange år fremover, er lavet af PVC, støbejern, og asbestcement/eternit. Især støbejern er udsat for korrosion og kan udvikle en meget ujævn indvendig overflade, der er så hård, at den ikke kan renses glat igen.

Holdninger til beskidte rør

Den største motivationsfaktor for at anvende Ice Pigging i Storbritannien er forbrugerklager over såkaldt "rødt vand". Små trykvariationer eller skift i flowretning kan ophvirvle aflejringer i ledningerne og give drikkevandet en ubehagelig misfarvning.

Ud over misfarvning, kan beskidte rør medføre en forøget sundhedsrisiko. Det kan fx skyldes arsen, der adsorberes til okkerpartikler i det akkumulerede materiale eller sygdomsfremkaldende bakterier, der kan være svære at komme til livs i en beskidt vandledning efter en kontaminering.

Men hvad skal vi gøre for at undgå rødt vand? Der findes meget forskellige holdninger og traditioner til dette spørgsmål. Sat på spidsen kan holdningerne inddeles i slapperne, strammerne, drifterne og pragmatikerne.

Slapperne mener, at en smule rødt vand ikke gør noget. Det er der ingen, der tager skade af. Og selv om der findes lovmæssige vandkvalitetskrav, er der ingen der siger, at der absolut skal foretages målinger lige den dag, hvor vandet er rødt. Strammerne mener, at det ikke ligner noget at bruge vores drikkevandsledninger som lagerplads til dumpning af skidt. Det skal vi holde op med. Vi må forbedre vores drikkevandsbehandling og vores rørlægningsprocesser, således at drikkevandsledningerne altid forbliver fuldstændig rene. Drifterne anvender et højt flow på alle strækninger én gang i døgnet for at undgå, at materiale samler sig over tid. Hermed kommer små mængder materiale helt ubemærket ud af hanerne hver dag. Dette praktiseres i fx Frankrig. Endelig er der pragmatikerne, der ser i øjnene, at der er skidt i vores ledninger, og at der fortsat vil være det i den overskuelig fremtid. Rørene skal blot renses efter behov – eller endnu bedre, i et fastlagt program, så proble-

merne løses inden, der begynder at komme klager. Det er her, Ice Pigging har sin berettigelse og lande som Australien har taget den pragmatiske tilgang til sig.

Og så det åbne spørgsmål: "Hvilken holdning skal vi have i Danmark?"

Projektlokaliteter

Til demonstration af metoden blev der anvendt 7 danske ledningsstrækninger og et specialkøretøj fra England til at producere, opbevare og udpumpe slush-ice, se Tabel 1. Af tabellen fremgår det, at der er tale om rør af forskellige materialer og dimensioner. Bjørnkærvej er en råvandsledning (dvs. før behandling på vandværket), mens de øvrige er drikkevandsledninger.

Med det anvendte køretøj renser Suez ofte dimensioner i intervallet 150 mm-250 mm og strækninger på 1-3 km. Med et andet køretøj kan større dimensioner renses. Under Ice Pigging sigtes der efter et flow på 0,3-0,5 m/s og et tryk på > 1 bar. Demonstrationsforsøgene blev gennemført således at evt. forstyrrelse af forbrugerne kunne holdes til ca. 1,5 time for hver lokalitet.

Isproduktion

Isen blev produceret i batch ved anvendelse af det lokale drikkevand, der var tilsat 5%

fødevarekvalitets salt. På grund af saltet sker der en frysepunktssænkning til typisk -5 til -6 °C. Hermed holdes isen kold længere i ledningerne.

Isen blev produceret ved den såkaldt Ziegra-proces, hvor brakvand afkøles under omrøring og recirkulation i en 2000 liter tank på køretøjet. Under omrøring sker en "Ostwald modning", som sænker isens forskydningskræfter og øger iskrystallernes størrelse og dermed holdbarhed. Afhængig af vejret tager det ca. 24 timer at lave en batch.

En nyere og kontinuerlig metode kan anvendes i stedet, når der skal bruges større ismængder. Her bliver drikkevandvandet afkølet til is, som derefter knuses og tilføres salt.

Forholdet mellem is og saltvand er vigtigt, da hvert blandingsforhold har sin egen forskydningskraft, og dermed renseseffekt. En tykkere isblanding kan fremstilles ved at afdræne vand fra is/vand-blandingen. Suez anvender typisk en 85 % tykkelse, målt i felten ved hjælp af en kaffestempelkande.

Istilførsel i praksis

Forbrugerne ved de berørte strækninger skal altid varsles inden rensning påbegyndes, fordi der vil komme rødt vand (se Fig. 2) ud af hanerne, hvis en forbruger tænder for vandet i netop de minutter, hvor Ice Pigging finder



Figur 2. Udtagning af en beskidt slush-ice prøve.



Figur 3. Is- og vandprøver udtaget for hver 30 sekunder (venstre mod højre) fra afgang under Ice Pigging, Venusvej, Fredericia.

sted (isen når dog ikke vandhanen, da den ikke kan passere stikledningens vandmåler). Da dette vand smager meget salt og er rødt, er risikoen for at nogen drikker vandet minimal.

Tilførsel af is til en ledningsstrækning kan foretages gennem en brandhane eller et 2,5 tomme rør anboret direkte på vandledningen.

Det afledte vand 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 turbi-

diteten falder. Normalt ses en turbiditetshale, der falder indenfor 5-10 minutter for mindre rørdiameter. Herefter kan almindeligt forbrug genoptages. Skyllingen skal udføres med forsigtighed (<1,5 m/s), da der ved højere flow er risiko for at trække materiale til fra ikke-rensede opstrøms rør.

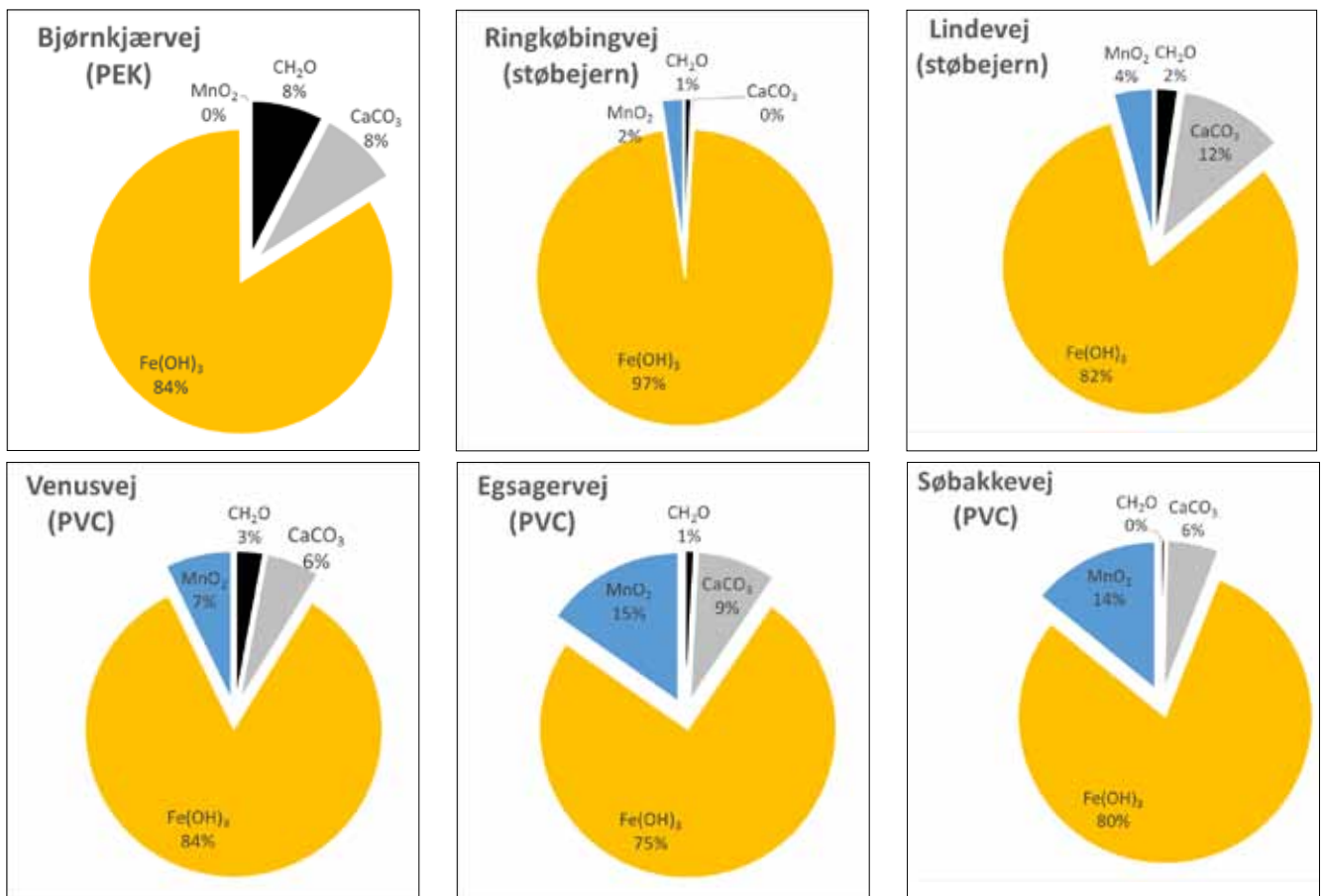
På grund af varmeledningsevnen nåede isen i de to lokaliteter med støbejernsledninger at smelte inden udløb, hvilket medførte en ringere rensning.

Karakterisering af materiale

Normalt udtages prøver af afgangsvand og -is for hver 30 s til vurdering af renseseffekten, se Fig. 3. Figuren viser at den forreste ende af issektionen har en ret skarp overgang fra ren til beskidt, mens der på bagsiden er en hale, hvor indholdet af skidt falder langsomt.

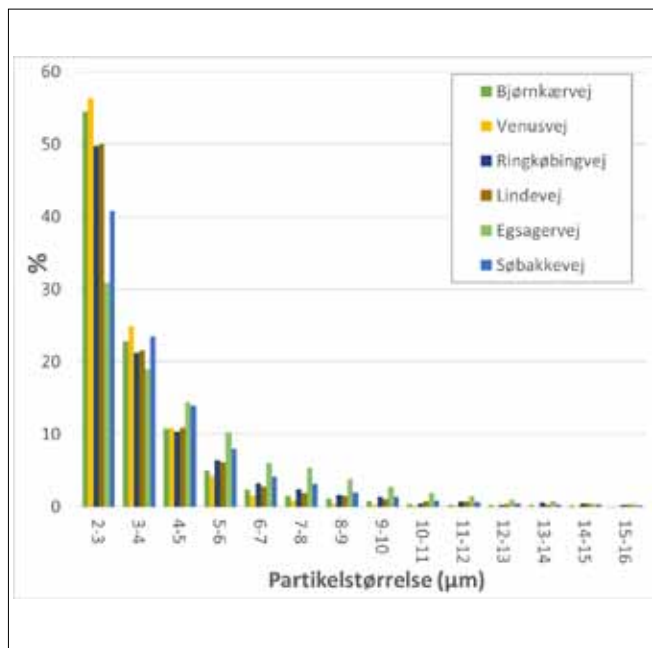
Disse prøver kan desuden betragtes som et vindue til oplysninger om rørenes indvendige tilstand. Oplysninger som ellers er vanskelig tilgængelige da rørene ellers skulle graves op for at inspiceres. Tabel 2 viser, at der blev fjernet flere kilogram materiale pr. kilometer fra alle rør.

For at karakterisere det fjernede materiale blev dets kemiske sammensætning (Fig. 4) og kornstørrelsesfordelingen (Fig. 5) undersøgt. Sammensætningen blev beregnet på vægt ba-



Figur 4. Sammensætningen af det fjernede materiale ved fuldskalaforsøg.

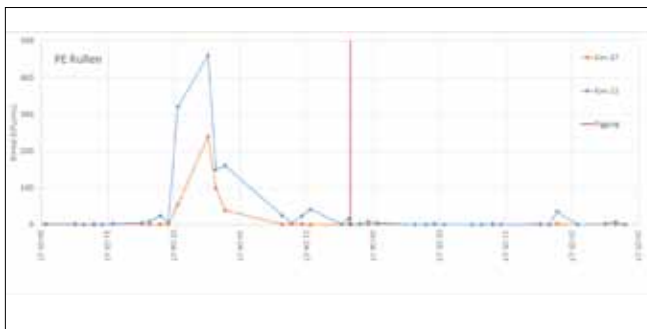
■ CH₂O ■ CaCO₃ ■ Fe(OH)₃ ■ MnO₂



Figur 5. Partikel størrelsesfordeling for det fjernede materiale ved fuldskala demonstration.



Figur 6. Test-rig opstillet på Lysholt Vandværk med 3 opgravede rør og 1 nyt PE rulle.



Figur 7. Bakterier i vandprøver fra udløbet af nyt 100 m Ø50 mm PE rulle.

sis ved at antage at calcium er bundet som carbonat, mens de øvrige metaller er bundet som oxider. Resultaterne varierer fra lokalitet til lokalitet (Fig. 4), men der ses dominans af okker mens kalk og forbindelser med mangan, aluminium, arsen og TOC kun bidrager svagt.

Hovedparten af partiklerne er $< 5 \mu\text{m}$ (fig. 5), svarene til en finsilt tekstur. Det bemærkes, at der kun blev målt i intervallet 2 - 60 μm , og at der også vil være mange partikler under 2 μm , dvs. lertekstur.

Bakterier

I både chlorerede og ikke-chlorerede drikkevandssystemer, udvikles der altid en biofilm på den indvendige side af rørvæggene. Udover biofilm på rørvægge findes der løse sediment i vandrør. 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/2/.

Lande med chlorerede systemer har en særlig interesse i at rense ledninger, da rene ledninger formindsker chlorudgifter og dannelse af de uønskede trihalometaner. I Danmark, hvor der ikke anvendes chlor, er der behov for ny viden om, hvilken indflydelse Ice Pigging har på bakterier i biofilm (sessile bakterier) på ledningernes vægge og på løse sediment samt risikoen for stigning af bakterierne i vandfasen (planktoniske bakterier).

Projektet inkluderede opstilling af en testrig på Lysholt Vandværk ved Vejle, se Fig. 6. Det bestod af en 100 m rulle af nyt Ø50 mm PE rør og 3 gamle opgravede Ø110 PEM rør.

Ledningerne blev skyllet med rent drikkevand i 1 måned, hvorefter ledningerne blev rensed ved Ice Pigging. Skyning fortsatte i yderligere 1 måned. Undervejs blev rørvæggen og vandprøver undersøgt.

Når nye vandledninger lægges i jorden, ses ofte en stigning bakterier, der frigives fra biofilmen til vandfasen efter ca. 14 dage. Denne frigivelsesstigning er et andet scenarie end biologisk ustabil vand /3/, hvor bakterier former sig over fx en 14-dages periode, efter at vandprøven er udtaget.

Fig. 7 viser en meget tydelig frigivelse af kim i den nye PE rulle efter ca. 14 dage, hvor efter indholdet faldt igen inden Ice Pigging fandt sted. Efter Ice Pigging ses ikke en fornyet stigning. Dette indikerer, at der ikke er bakteriologiske problemer med at idriftsætte en rørstrækning umiddelbart efter Ice Pigging.

Måling af total-ATP aktiviteten blev udført ved at skære et stykke rør af og swabe indersiden før og efter Ice Pigging. Resultaterne viste et fald i ATP på en faktor 10. Dette indikerer, at mange bakterier blev fjernet, men at der ikke skal startes forfra med opbygning af biofilm.

Perspektiver

Projektet viste at Ice Pigging – efter lidt praktisk øvelse – er en hurtig og effektiv måde at rense drikkevandsledninger på. Samtidig kan målinger af is og vandprøver give nye oplysninger om tilstanden af den indvendige side af danske drikkevandsledninger. Metoden kræver en del praktisk øvelse, bl.a. i forhold til afprøvning af ventiltæthed til isolering af strækningen, der skal renses.

Projektet foreslår, at der oprettes en landsdækkende database til opsamling af viden fra kommende danske Ice Pigging-projekter. Hermed kan der skabes grundlag for 1) at forstå årsagen til at materiale samles i drikkevandsledninger og 2) at forudse rensningsbehovet på individuelle strækninger.

Referencer

- 1/ Quarini, J. 2002: Ice-pigging to reduce and remove fouling and to achieve clean-in-place. Applied Thermal Engineering 22, 747-753.
- 2/ Liu, G., et al. 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. ES&T 48, 5467-5476.
- 3/ Prest, E. et al. 2016: Biological Stability of Drinking Water, Frontiers of Microbiology, 7, artikel 45, 1-24.

LOREN RAMSAY er seniorforsker ved Center for Forskning og Udvikling i Byggeri, Energi og Miljø ved VIA University College, Horsens, lora@via.dk

GUDMUNDUR ANDRESSON er projektingeniør ved Envidan, Silkeborg gua@envidan.dk.

ANNE BJERRUM JUHL er vandkvalitetsingeniør ved TREFOR Vand, Kolding, anju@trefor.dk.

RASMUS BÆRENTZEN er driftsingeniør ved Aarhus Vand, Aarhus, rab@aarhusvand.dk.

Tak til PETER ROSLEV, lektor ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet for at bidrage med Coulter Counter-målinger.

Tak til PHIL PETTIT, International Account Manager, Suez Advanced Solutions Ltd., for projektassistance.