



# Undersøgelse af biofilm som biologisk barriere ved idriftsættelse af nye PE- forsyningsledninger MUDP-projekt

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Torben Lund Skovhus<sup>1</sup>,  
Ditte Søborg Andreasen<sup>1</sup>,  
Lone Tang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> VIA University College, Center for byggeri, klima og vandteknologi

ISBN: 978-87-7038-695-1

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](mailto: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

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>MUDP-PROJEKT 2020-15502</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Baggrund</b>	<b>8</b>
3.1	Tidligere VTUF-projekt 7878.2025	8
3.1.1	Aarhus Vands optimerede idriftsættelsesprocedure 2017	8
3.2	Directive (EU) 2020/2184 Article 11	8
3.3	Organiske stoffer identificeret til at migrere fra PE-rør	9
<b>4.</b>	<b>Idriftsættelsesprocedurer for PE-rør varierer hos forsyningerne</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>Opbevaring af PE-rør kan påvirke frigivelsen af organiske stoffer til vandbanen</b>	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>Vandkvalitet og særligt kim22 påvirkes af nye PE-rør</b>	<b>14</b>
6.1	Kim22 stiger inden for 20 dage efter idriftsættelse af nye PE-rør	14
6.2	Effekt af organiske stoffer migrerende fra PE-rør på biofilm og vandkvalitet	15
6.3	Bakterier i vand og biofilm i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør	15
6.4	Effekt af nedstrøms biofilm på peak i Kim22 under idriftsættelse af PE-rør	16
<b>7.</b>	<b>Hvad kan Colilert-analysen bruges til?</b>	<b>17</b>
<b>8.</b>	<b>Hvad kan hurtigmatoderne for mikrobiologisk vandkvalitet bruges til?</b>	<b>18</b>
<b>9.</b>	<b>Hvad kan molekylærbiologiske metoder bruges til?</b>	<b>19</b>
<b>10.</b>	<b>Skylleprocedurer</b>	<b>20</b>
<b>11.</b>	<b>Konklusioner</b>	<b>21</b>
11.1	Idriftsættelsesprocedurer	21
11.2	Opbevaring af PE-rør	21
11.3	Biofilm og vandkvalitet	22
11.4	Mikrobiologiske analyser og skylleprocedurer	22
<b>12.</b>	<b>Formidling</b>	<b>24</b>
<b>13.</b>	<b>Referenceliste</b>	<b>25</b>
<b>14.</b>	<b>Bilagsoversigt</b>	<b>27</b>
	<b>Bilag 1.State-of-the-art of substances migration from PE pipes to drinking water</b>	<b>28</b>
	<b>Bilag 2.Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet</b>	<b>34</b>
	<b>Bilag 3.Nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet</b>	<b>41</b>

**Bilag 4. Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers  
nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i  
drikkevandssystemet**

**43**

# 1. Forord

Projektperiode: maj 2021 – august 2024

Projektdeltagere:

Torben Lund Skovhus, VIA University College, Center for byggeri, klima og vandteknologi,

Ditte Søborg Andreasen, VIA University College, Center for byggeri, klima og vandteknologi

Lone Tang, VIA University College, Center for byggeri, klima og vandteknologi

Bevilling fra MUDP: 1.068.691kr

Projektleder: Torben Lund Skovhus

Samarbejdspartner: TREFOR Vand A/S, Aarhus Vand A/S, NORDISK Wavin A/S, Teknologisk Institut

Denne slutrapport beskriver erfaringer fra idriftsættelse af forsyningsledninger af PE (polyethylen), der er gjort under MUDP-projekt 2020.15502 "Funktionelle PE-rør med gavnlige biofilm til nedbrydning af materiale-monomerer i drikkevandssystemet" støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet.

Projektet er udført af VIA University College, TREFOR Vand, Aarhus Vand, Nordisk Wavin og Teknologisk Institut i perioden fra maj 2021 til august 2024.

Slutrapporten er struktureret på følgende måde:

Rapporten bearbejder primært resultater fra arbejdsplan 1 (State-of-the-art og spørgeskemaundersøgelser), arbejdsplan 5 (Best Practice for idriftsættelse af PE-rør) og arbejdsplan 6 (Formidling). Bilag 1-4 understøtter rapporten med data fra spørgeskemaundersøgelserne fra hhv. 2022 og 2024.

Arbejdsplan 2-4 er beskrevet i detaljer i bilag 5-8. Bilagene er ikke publiceret sammen med denne rapport, da de danner grundlag for 3 videnskabelige artikler. Artiklerne er planlagt til publicering i 2025 (se afsnit 12 om Formidling).

Fra projektets deltagere og ledelse, ønsker vi dig som læser rigtig god fornøjelse med din videre læsning. Vi håber at resultaterne vil være til stor gavn for den videre diskussion og udvikling i den danske vandbranche.

På projekts vegne:

Docent og projektleder Torben Lund Skovhus

Center for byggeri, klima og vandteknologi

VIA University College, Campus Horsens

## 2. MUDP-PROJEKT 2020-15502

Dette dokument beskriver erfaringer fra idriftsættelse af forsyningsledninger af (polyethylen) PE, der er gjort under MUDP-projekt 2020.15502 "Funktionelle PE-rør med gavnlig biofilm til nedbrydning af materiale-monomerer i drikkevandssystemet".

Projektet har undersøgt i hvilken grad biofilm i drikkevandssystemet udgør en biologisk barriere mod indtrængende organiske stoffer, der migrerer fra PE-rør til vandbanen samt hvorvidt denne nedbrydning kan stimuleres ved optimal etablering og dannelse af en biofilm i ny-idriftsatte rør. Specifikt har projektet:

1. indsamlet data om organiske stoffer migrerende fra PE-rør til vandbanen og nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør ved danske forsyninger.
2. udviklet og undersøgt forbehandlings – og/eller opbevaringsmetoder, der i forbindelse med idriftsættelse leder til reduceret migration af stoffer, der migrerer fra PE-rør til vandbanen.
3. identificeret mikroorganismer med potentiale til nedbrydning af de organiske stoffer.
4. fulgt biofilmvækst og vandkvalitet under idriftsættelse af nye PE-rør ved 3 lokationer hos TREFOR Vand og Aarhus Vand.

# 3. Baggrund

## 3.1 Tidligere VTUF-projekt 7878.2025

Et tidligere projekt blev gennemført i regi af Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond - VTUF-projekt 7828.2015 i perioden 2015-2018. Heri tager MUDP projektet sit faglige udspring.

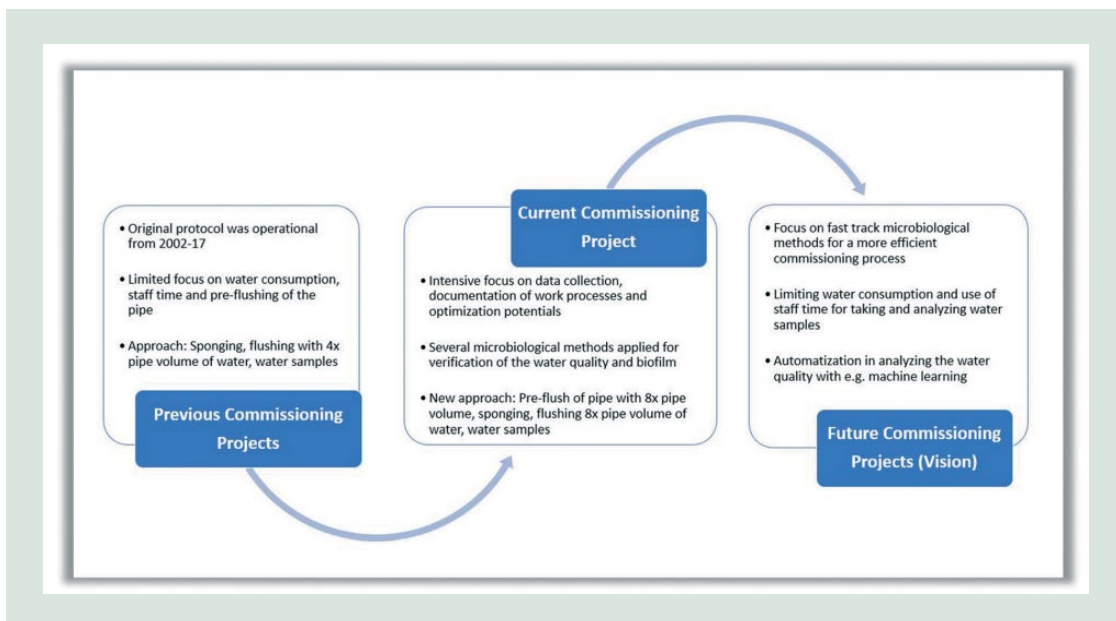
### 3.1.1 Aarhus Vands optimerede idriftsættelsesprocedure 2017

VTUF-projektet blev afsluttet med en optimeret idriftsættelsesprocedure for PE-rør i drikkevandssystemet byggende på følgende principper (Vejledningsnummer 03.64):

- a. Pre-flush af det gamle system inden der tilkobles
- b. Svampning af nyt rør
- c. Skylning med 8x ny rørs rørvolumen
- d. Tæthedsprøvning

Denne procedure blev fulgt bl.a. af Aarhus Vand efter projektets afslutning og dokumenteret i den videnskabelige artikel "Effect of early biofilm formation on water quality during commissioning of new polyethylene pipes" (Skovhus et al, 2022). I artiklen beskrives en vision for fremtidige idriftsættelsesprocedurer med følgende hovedpunkter (FIGUR 1):

1. At have fokus på hurtigmetoder til analyse af mikrobiologisk vandkvalitet med henblik på en mere effektiv idriftsættelsesprocedure.
2. At begrænse vandforbrug og mandetimer til prøvetagning og analyse af vandprøver.
3. At automatisere vandkvalitetsanalyser gennem f.eks. online målinger og machine learning.



FIGUR 1. Udvikling af protokol for idriftsættelse af PE-transmissionsledninger ved Aarhus Vand.

## 3.2 Directive (EU) 2020/2184 Article 11

Drikkevandsdirektivets artikel 11 (Directive (EU) 2020/2184 af 16/12/2022) indfører EU-harmoniserede hygiejnekrav, godkendelsesprocedurer og testmetoder for materialer og produkter i



kontakt med drikkevand. Kravene gælder for materialer, der skal bruges i nye anlæg og ved reparation/renovering af eksisterende anlæg.

Krav til materialer i kontakt med drikkevand indebærer, at disse ikke må

- a. afgive stoffer til vandet på højere niveauer end nødvendigt ift. det tiltænkte formål.
- b. forøge den mikrobielle vækst i vandet.
- c. påvirke vandets farve, lugt eller smag negativt.
- d. udgøre en direkte eller indirekte potentiel fare for menneskers sundhed.

I Danmark, er det muligt at få certificeret materialer i kontakt med drikkevand (fx via DK-VAND) hvis disse ikke frigiver skadelige stoffer, smag og lugt over de nationale krav (BEK nr. 1023 af 29/06/2023).

### **3.3 Organiske stoffer identificeret til at migrere fra PE-rør**

Plastrør anvendt til drikkevandsdistribution skal opfylde en lang række krav til styrke, stabilitet, farve m.v. Således tilsættes en række additiver under fremstillingen, herunder stabilisatorer, farvestoffer og hjælpestoffer. Den konkrete sammensætning er typisk fortrolig.

Polyethylen er imidlertid følsom over for fx ilt, varme, lys, og fysisk/mekanisk påvirkning, hvorved polymerkæderne kan nedbrydes til mindre kulstofkæder, hvilket reducerer levetiden af PE-rør. Antioxidanter kan bremse dette ved selv at oxideres, hvorved, der kan dannes en række nedbrydningsprodukter.

Adskillige organiske stoffer er fundet at kunne migrere fra plastikrør til drikkevand (Arvin et al, 2000; Brocca et al, 2000; Arvin, 2001a; Arvin et al., 2001b; Brocca et al., 2002a; Brocca et al., 2002b; Skjevraak et al, 2003, Nielsen et al, 2007, Lund et al, 2011, Fischer et al, 2012, Peltto-Huikko et al, 2021, Diera et al, 2023, Thomsen et al, 2023). For eksempel dokumenterede VUDP-projektet "Bedre vandkvalitet til forbrugerne", 127 stoffer, som kan afsmitte fra PE-rør (inkl. pakninger og fittings) (Diera et al, 2023, Thomsen et al, 2023).

FIGUR 2 viser et overblik over specifikke stoffer inkluderet i dette projekts undersøgelser.

Monomer	Målte niveauer i PE/PEX (µg/L)	Reference
2,4-di-tert-butylphenol	0,02-162,9	1,2,3,4
3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionsyre	26,5-64,7	1,2
3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyacetophenon	0,05-6,6	1,2
2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol		3
7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro[4,5]-deca-6,9-dien-2,8-dion	0,05-538,5	1,2
2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinon	0,05-7	1,2,3,4
3-(3,5-Di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methylpropanoat	0,05-3,5	1,2
4-ethylphenol	10,7	1
3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyd	0,05-4,6	1,2
4-tert-butylphenol	0,1-6,6	1
3,5-di-tert-butyl-4-hydroxystyren	0,3-3,9	1

1: Brocca et al. 2002; 2: Fisher et al. 2012; 3: Skjevraak et al (2003); 4: Skjevraak et al (2005)

**FIGUR 2.** Udvalgte organiske monomerer der kan migrere fra PE-rør.

Koncentrationen af de enkelte stoffer, der frigives, vil typisk være så lav, at de ikke alene udgør en sundhedsrisiko, men manglende toksikologisk viden, cocktail-effekter eller kombinationer med eksponering fra andre kilder er ikke fuldt undersøgt og forstået.

## 4. Idriftsættelsesprocedurer for PE-rør varierer hos forsyningerne

En spørgeskemaundersøgelse blev gennemført i starten af 2022 (Bilag 2 og 3) og igen mod projektafslutning i 2024 (Bilag 4). I undersøgelseerne deltog hhv. 79 og 31 personer dækkende teknikere, maskinmestre, montører/smede, tilsynsførende, vandværksbestyrere, driftsledere, teamledere, projektledere, bestyrelsesformænd, administratorer og specialister fra i alt hhv. 22 og 17 forskellige store og små forsyninger.

I 2022 havde 29% en skriftlig idriftsættelsesprocedure mod 65% i 2024. Det kunne derfor tyde på, at flere forsyninger har introduceret skriftlige idriftsættelsesprocedurer for PE-rør over de seneste 2 år eller at respondenterne for 2024 i højere grad kom fra store forsyninger.

Spørgeskemaundersøgelsen viste store forskelle i idriftsættelsesprocedurer. Her fremhæves følgende parametre:

1. Opbevaring af rør inden idriftsættelse: Den overvejende del af forsyningerne opbevarede PE-rør få dage til uger udendørs på stedet for idriftsættelse (60%, 2022 og 78% 2024). Henholdsvis 34% (2022) og 22% (2024) opbevarede rør hos forsyningen (rørlager) i uger til måneder. I begge tilfælde blev rør overvejende opbevaret overdækket og med endepropper.

2. Vandkvalitet og analyser: Den overvejende del af forsyningerne (ca. 60% 2022 og ca. 90% 2024) tester for Kim22, coliforme og *E. coli* i forbindelse med idriftsættelse på nedstrøms vandprøver, nogle suppleret med Kim37. Derudover tester få forsyninger med BactiQuant (<20%) eller ATP-måler (<10%).

3. Skylleprocedure: Rørdimension, flow og varighed for skylning af rør skal ses samlet og afhænger af hinanden. Volumen af skyllevand varierede dog generelt fra 2 til 10 X rørvolumen, mens der blev noteret flow på 3-6 m<sup>3</sup>/h og 2 cm/s under idriftsættelse. Varigheden blev ofte afgjort af vandkvaliteten. Den overvejende del (55%, 2022 og 82% 2024) anvendte en svamp som en del af skylleproceduren, og ca. halvdelen desinficerede denne. Omkring halvdelen (45% 2022 og 50% 2024) anvendte en udskylningskasse (fx indeholdende kuglehane, kontraventil, måler, prøvehane og snavssamler). Enkelte (12% 2022 og 24% 2024) tog særlige foranstaltninger i skylleproceduren til opstrøms materiale og skyller fx opstrøms støbejernsrør.

## 5. Opbevaring af PE-rør kan påvirke frigivelsen af organiske stoffer til vandbanen

Opbevaring af PE-rør inden idriftsættelse har været undersøgt på baggrund af en hypotese om, at nyproducerede rør, der idriftsættes kort efter produktion, vil have en større effekt på vandkvaliteten ved afsmitning af organiske stoffer til vandbanen end rør, der har været opbevaret en periode og har haft tid til delvist at afgasse.

Denne hypotese er testet ved at undersøge vandkvalitet efter forskellige opbevaringsmetoder af PE-rør (migrationsanalyser, DS/EN 12873-1, dog målt efter den første 72 timers inkubation i stedet for den typiske tredje inkubation for at dokumentere et worst-case-scenarie).

De valgte opbevaringsmetoder tog udgangspunkt i nuværende idriftsættelsesprocedurer fra spørgeskemaundersøgelsen 2022 suppleret med metoder, der i teorien skulle fremme fjernelse fra rørene inden idriftsættelsen (fx opvarmning) samt udnyttelse af positive effekter af biofilm (probiotisk strategi).

For at opnå flest/højeste koncentrationer af de organiske stoffer, blev der inkluderet granulat fra produktionen af PE-rør samt et kværnet nyproduceret rør i undersøgelserne.

Kommentarer fra spørgeskemaundersøgelsen vedrørende opbevaring af rør inkluderede:

1. Problematik ved udendørs opbevaring på sted for idriftsættelse på landet er fx påvirkning fra gylle.
2. Problematik ved opbevaring på sted for idriftsættelse i by er fx at endepropper fjernes.
3. Problematik ved længere tids udendørs opbevaring på trods af endepropper er indtrængen af ørentvister.

En oversigt over de testede opbevaringsmetoder findes i FIGUR 3.

Opbevaringsmetode for PE-rør	Effekt af...	Opbevaringstid
"Granulat" fra produktion	Flest/højeste konc. af monomerer	0 dage
"Knust" rør	Flest/højeste konc. af monomerer	0 dage
Direkte fra produktion	Worst-case-scenarie fra virkelig situation	0 dage
Varmebehandling	Opvarmning ved 75 °C	3 timer
Varmebehandling uden endeprop	Opvarmning ved 75 °C uden endeprop	3 timer
Indendørs	Opbevaring på rørlager, uger	2 uger
Indendørs uden endeprop	Opbevaring på rørlager, uger uden endeprop	2 uger
Indendørs	Opbevaring på rørlager, måned	1 måned
Indendørs	Opbevaring på rørlager, langtids	6 måneder
Indendørs, vandfyldt	Byggemodning	6 måneder
Indendørs med probiotika	Biofilm	0 dage
Indendørs med hedvandsrensning	Effekt af mekanisk behandling	0 dage
Udendørs, tildækket	Opbevaring på sted for idriftsættelse, dage	3 dage
Udendørs i sollys	Sollys	2 uger
Udendørs, tildækket	Opbevaring på sted for idriftsættelse, måned	2 uger
Udendørs, tildækket	Opbevaring på sted for idriftsættelse, måned	1 måned
Udendørs, tildækket	Opbevaring på sted for idriftsættelse, langtids	6 måneder

**FIGUR 3.** Overblik over opbevaringsmetoder. Hvor endepropper ikke er nævnt specifikt, er de anvendt.

En grundig gennemgang af resultaterne kan findes i projektets afrapportering. Kort blev det dokumenteret, at koncentrationen af stoffer, der migrerede fra PE-rør, lå inden for det niveau, der er observeret i tidligere litteraturstudier. Migrationen fra nogle prøver lå højere end grænseværdier specificeret i EU's positivliste og/eller DK-VAND (Directive (EU) 2020/2184 af 16/12/2022). En særlig høj migration blev som forventet fundet fra granulat og knuste nyproducerede rør.

Generelt blev der fundet lavere koncentrationer af stoffer ved migrationsanalyse, når PE-rør havde været opbevaret/forbehandlet:

- over længere perioder (fx 28 dage)
- udendørs i forhold til indendørs på et rørlager
- uden endepropper i forhold til med endepropper
- ved opvarmning til 75°C i 3 timer
- ved hedvandsrensning

I spørgeskemaanalysen i 2024 blev forsyningerne spurgt til om de ville være villige til at ændre nuværende opbevaringsprocedurer på denne baggrund. Det var der 41% af forsyningerne, der kunne have interesse i, men praktiske foranstaltninger (logistik, tid, tilladelse, pris, risiko for kontaminering) vil kunne begrænse muligheden. Man kunne overveje om opbevaringsstedet for nye PE-rør skal være hos producenten, på rørlager eller ved sted for idriftsættelse hos forsyningen. Der skal sandsynligvis være bedre dokumentation for gevinsten ved at begrænse frigivelse af organiske stoffer fra PE-rør til vandbanen for at ændringer i opbevaringsprocedurer bliver interessante for alle.

## 6. Vandkvalitet og særligt kim22 påvirkes af nye PE-rør

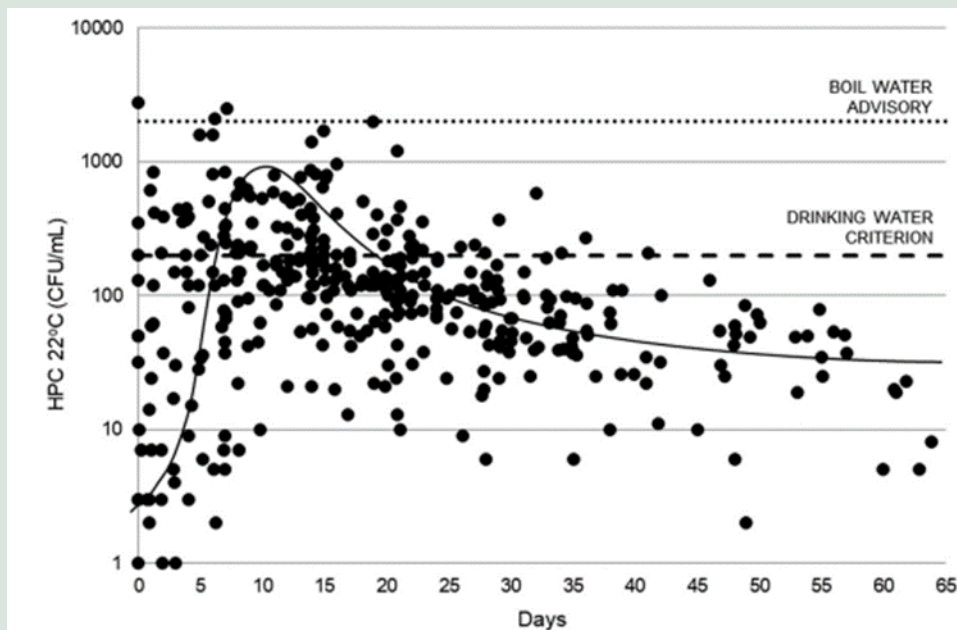
Kimtalsanalysen er almindeligt anvendt i forbindelse med idriftsættelse og en del af de lovpligtige analyser. Men metoden har visse ulemper. Dels bygger analysen på de få procent mikroorganismer, der kan dyrkes i laboratoriet og som har en organisk kulstofkilde. Dels er metoden vækstbaseret, og der er derfor lang svartid (2-3 dage).

Forsyninger (Spørgeskemaundersøgelsen 2022) ytrer ønske om at få dokumentation for, hvad forhøjede Kim22 betyder i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør. Der er en generel forventning om at disse øgede Kim22 ikke er sundhedsskadelige, men dokumentationen mangler. Det påpeges, at dokumentationen for de forhøjede Kim22 kan bidrage til en ensretning for myndigheder og en mulighed for at idriftsætte hurtigere kun på baggrund af målinger af coliforme og *E. coli*.

I dette projekt blev udført forskellige forsøg og analyser af vand og biofilm fra test-rigs bestående af ca. 50 m PE-rør installeret som et bypass til fuldskala drikkevandssystemer ved TREFOR Vand (Fredsted) og Aarhus Vand (Bushøj og Truelsbjerg).

### 6.1 Kim22 stiger inden for 20 dage efter idriftsættelse af nye PE-rør

Mikrobiologiske analyser af vandprøver nedstrøms idriftsættelser af PE-rør i drikkevandssystemet har vist forhøjede Kim22, særligt i løbet af de første 20 dage (FIGUR 4). Kimtallene overskrider her kravet ved forbrugerne på 200 CFU/mL, men der ses sjældent niveauer op omkring kogeanbefalingen på 2000 CFU/mL.



**FIGUR 4.** Kim22 fra Aarhus Vand, hvor det er muligt at observere et peak mellem dag 10 og 14 efter idriftsættelse. Data er indsamlet fra 27 idriftsættelsesprocedurer i 2015.

## 6.2 Effekt af organiske stoffer migrerende fra PE-rør på biofilm og vandkvalitet

Ved forsøg med effekt af 9 rene stoffer, kendt fra at migrere fra PE-rør, på både biofilmdannelse og aktivitet, sås både stimulerende og inhiberende effekter af stofferne. Generelt sås en stimulerende effekt for alle stoffer (5 og 0,5 mg/L) på ung biofilm (få måneder, Fredsted) mens ældre biofilm blev mindre påvirket (flere år, Bushøj og Truelsbjerg). Dette kan muligvis forklares ved nylig større eksponering af den unge biofilm til stofferne fra de nystillede PE-rør. Således vil den unge biofilm potentielt indeholde mikroorganismer med potentiale til at nedbryde de organiske stoffer.

For at simulere et worst-case-scenarie, blev der ligeledes udført forsøg med ekstrakt af kværnet ny-produceret PE-rør i MilliQ vand. Resultaterne viste, at denne PE-juice inklusiv de organiske stoffer, der måtte migrere fra PE-røret, var en næringskilde for mikroorganismer og stimulerede både vækst og aktivitet af fritsvævende mikroorganismer og biofilm. Resultatet illustrerer, at de peaks i Kim22, der ses i vandfasen i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør, kan være stimuleret af organiske stoffer frigivet fra PE-rør.

## 6.3 Bakterier i vand og biofilm i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør

Det tyder på, at visse mikroorganismer ofte observeres i nystillede PE-rør, fx bakterieslægter som *Pseudomonas* og *Aquabacterium*. En art af *Aquabacterium* (CZ3) er tidligere dokumenteret at nedbryde phenoler fra forurenede vand (Zhang et al. 2022), og adskillige *Pseudomonas* arter er fundet til at have phenol-nedbrydende egenskaber (Hinteregger et al., 1992; Hasan and Jabeen, 2015; Powlowski and Shinhler, 1994; Mahiuddin et al. 2012).

Familien *Burkholderiaceae* udgjorde 40% af biofilmen fra Fredsted efter 30 dage og fra denne familie dominerede særligt slægten *Aquabacterium* den unge biofilm. Tidligere undersøgelser af biofilm fra Bushøj og Truelsbjerg fandt tilsvarende at *Aquabacterium* dominerede ung biofilm (op til 60% af samfundet) mens modne biofilm begrænset tilstedeværelse af denne slægt og generelt var mere diverse (Søborg et al, 2024).

*Pseudomonas* udgjorde kun en mindre del (1-2%) af de testede biofilm. Til gengæld udgjorde *Pseudomonas* op til 10% af mikroorganismer i nedstrøms vandprøver efter indsættelse af et nyt

stykke PE-rør i den eksisterende test-rig ved Bushøj, ligesom 80-90% af DNA-sekvenserne fra Kim22 fra idriftsættelse af Fredsted bestod af *Pseudomonas*.

Det tyder således på, at organiske stoffer, der migrerer fra PE-rør, påvirker både de første bakterier, der koloniserer det nye PE-rør og dem, der findes vandfasen, og at disse bakterier kan have evne til at nedbryde de organiske stoffer, der migrerer fra de nyligt idriftsatte PE-rør. Forsøgene understøtter dermed hypotesen om at biofilm kan fungere som en barriere mod organiske stoffer migrerende fra ny-idriftsatte PE-rør, så stofferne begrænses i vandbanen til gavn for forbrugeren. Peak i Kim22 er i den sammenhæng et resultat af mikroorganismers respons på tilførslen af organisk stof i form af stoffer migrerende fra PE-rør snarere end et udtryk for en dårlig vandkvalitet med mulighed for tilstedeværelse af patogene mikroorganismer.

#### **6.4 Effekt af nedstrøms biofilm på peak i Kim22 under idriftsættelse af PE-rør**

Det blev undersøgt om eksisterende ung (Fredsted) og ældre (Bushøj) biofilm kunne fungere som en barriere mod organiske stoffer frigivet fra opstrøms idriftsættelse af nye PE-rør i de eksisterende test-rigs.

Ved den ene lokation med ældre biofilm (Bushøj) sås forventet forhøjede Kim22 i vandet lige efter det nye rørstykke (omkring 500 CFU/mL). Længere nedstrøms i test-riggen med ældre biofilm sås imidlertid Kim22 omkring 160 CFU/mL (under drikkevandskriteriet hos forbrugeren på 200 CFU/mL), hvilket understøtter hypotesen. Ved den anden lokation med ung biofilm (Fredsted) sås ingen signifikant effekt på Kim22 ved idriftsættelse af det nye PE-rør i den eksisterende test-rig. Som det også ses af FIGUR 4, leder nogle idriftsættelsesprojekter til mindre effekt på vandkvaliteten. I dette projekt blev det ikke afklaret hvorfor, men forskellige faktorer som hydraulik, den naturlige population af mikroorganismer i systemet eller andre vandkvalitetsrelaterede faktorer kan spille ind.

Det kunne tyde på, at på trods af peak i Kim22 i vandet umiddelbart nedstrøms et nyt idriftsat PE-rør, vil eksisterende biofilm længere nedstrøms i drikkevandssystemet kunne modvirke dette, så de forhøjede Kim22 begrænses frem mod forbrugerne.



## 7. Hvad kan Colilert-analysen bruges til?

Colilert-analysen bruges til at påvise og kvantificere tilstedeværelsen af coliforme bakterier og *E. coli* i vandprøver ved hjælp af "most probable number" (MPN) kvantificering. Metoden er forholdsvis specifik og kræver 18 timer for at give et svar, men har den udfordring, at drikkevandskriterierne er identiske med detektionsgrænsen for metoden (medmindre vandprøverne opkoncentreres).

Metoden er særlig vigtig for at vurdere, om drikkevand er sikkert at indtage for mennesker, idet drikkevand forurenet med coliforme bakterier og *E. coli*, kan indikere tilstedeværelsen af sygdomsfremkaldende mikroorganismer. I forbindelse med idriftsættelse, bør man således være opmærksom på fund af coliforme og *E. coli*, der kan indikere at jord og evt. patogener, kan være kommet ind i systemet.

## 8. Hvad kan hurtigmetoderne for mikrobiologisk vandkvalitet bruges til?

BactiQuant og ATP er analytiske hurtigmetoder med minutters svartid. For BactiQuant måles det totale antal bakterier i drikkevand ved en enzymatisk reaktion, der resulterer i målbar fluorescens, der udtrykkes ved et BactiQuant-tal (BQ-tal). For ATP, måles alle aktive celler i en vandprøve, dvs. både bakterie-, plante- og dyreceller, da ATP er et energibærende molekyle anvendt af alle levende celler. Cellerne i vandprøven lyseres, hvorefter intracellulært ATP frigives. Det frigivne ATP reagerer med enzymet luciferase i nærvær af substratet luciferin, hvilket producerer lys (bioluminescens), der kan detekteres ved hjælp af et luminometer. Mængden af lys, der produceres, er proportional med mængden af ATP i prøven og dermed et mål for antallet af aktive celler.

Da begge metoder måler totale antal bakterier, og da drikkevand har et naturligt bakterieindhold, kræves en baseline, som kan variere fra system til system eller over tid og sted for måling i et distributionssystem. Det er således ikke muligt at måle små ændringer i vandkvaliteten (fx få patogener) med disse metoder, men metoderne kan give et hurtigt svar på større ændringer i den mikrobiologiske vandkvalitet. Der er ikke opgivet grænseværdier for BQ-tal eller ATP i den lovpligtige kontrol af drikkevand, hvorfor metoderne ikke anvendes i den henseende, men snarere er en del af forsyningernes egenkontrol.

Under idriftsættelse af 5 m PE-rør i de eksisterende test-rigs i dette projekt, blev der observeret hverken markante peaks i ATP eller totale antal bakterier. Til gengæld viste tidligere undersøgelser af idriftsættelse af ca. 500 m ledning ved Mosevangen ved Aarhus Vand forhøjede værdier for både ATP og BactiQuant i perioden, hvor der var peak i Kim22 (Skovhus et al, 2022). Resultaterne hænger fint sammen med, at der skal større ændringer i vandkvaliteten til (frigivelse af organiske stoffer fra 500 m kontra 5 m PE-rør) for at hurtigmetoderne ATP og BactiQuant giver en signifikant stigning.

## 9. Hvad kan molekylærbiologiske metoder bruges til?

Molekylærbiologiske metoder omfatter bl.a. qPCR (kvantitativ polymerasekædereaktion) og DNA-sekvensering og er baseret på måling af mikroorganismers DNA (eller RNA) og kan bruges til påvisning, kvantificering eller identifikation af mikroorganismer og deres egenskaber.

Ved brug af universelle primere, der er målrettet konservative sekvenser i mikrobielt DNA, kan qPCR give en måling af totale antal bakterier. Men ved brug af specifikke primere, kan qPCR også anvendes til at identificere og kvantificere specifikke patogener som fx *E. coli*, *Legionella*, eller *Salmonella* eller mikrobielle gener, fx *amoA*, der koder for en del af enzymet ammonium monooxygenase (AMO), der er essentielt for nitrificerende bakteriers evne til at omdanne ammonium til nitrit.

Sekvensering kan give oplysning om antal og diversitet af mikroorganismer i en vandprøve. Ved sekvensering bestemmes rækkefølgen af baser i et stykke ukendt DNA, og det er muligt at bestemme den fulde DNA-sekvens af både specifikke gener eller en mikroorganismes fulde genom. Ved sammenligning med databaser med kendte sekvenser, kan genet eller mikroorganismen identificeres. Metoden kan således både bruges til identifikation og kvantificering af specifikke patogener, eller den kan bruges til karakterisering og bestemmelse af mikrobiel diversitet (16S rRNA gen-sekvensering) i biofilm eller vand.

Molekylærbiologiske metoder kan derfor være relevante, hvis der er tilstedeværelse af indikatororganismer (coliforme og *E. coli*), og man ønsker at bestemme årsagen, til kildesporing eller blot til at forstå den mikrobielle diversitet i drikkevandssystemet. F.eks. vil en kontaminering med jord, overfladevand eller spildevand indeholde en markant anden diversitet sammenlignet med drikkevandsbiofilm, og sammensætningen af mikrobiologien ved en evt. kontaminering vil ofte kunne beskrive kilden.

# 10. Skylleprocedurer

Som nævnt tidligere, var der store variationer i forsyningernes skylleprocedurer, og man skal have for øje, at rørdimension, flow og varighed for skylning af rør skal ses samlet og afhænger af hinanden. Typisk var skylleproceduren dog enten bestemt af rørvolumen (fx 2-10 X rørvolumen) eller et givent flow (fx 3 m<sup>3</sup>/h eller 5 m<sup>3</sup>/h) i en given periode (ofte fra 1-5 timer op til et døgn eller til der ligger en ren vandprøve).

Sammenlignes vandforbruget ved de to metoder, vil skylning efter tid som regel bruge langt mere vand end skylning efter rørvolumen. F.eks. giver 100 m ø100 mm rør ved 8 X rørvolumen 6 m<sup>3</sup> vand, mens 5 timers skylning ved 3 m<sup>3</sup>/h giver 15 m<sup>3</sup> vand.

Der blev ikke lavet nærmere undersøgelser af selve skylleproceduren i dette projekt.

# 11. Konklusioner

## 11.1 Idriftsættelsesprocedurer

På baggrund af spørgeskemaundersøgelserne fra 2022 og 2024 kan følgende konklusioner drages:

Stigning i skriftlige idriftsættelsesprocedurer:

Der er sket en **markant stigning i andelen af forsyninger, der har en skriftlig idriftsættelsesprocedure for PE-rør**. I 2022 var det kun 29% af forsyningerne, der havde en sådan procedure, mens det i 2024 var steget til 65%. Dette indikerer, at flere forsyninger har implementeret skriftlige procedurer over de seneste to år, eller at respondenterne i 2024 i højere grad repræsenterer større forsyninger, som typisk har sådanne procedurer på plads.

Ændringer i opbevaring af rør:

En **stigende andel af forsyningerne opbevarer PE-rør udendørs på stedet for idriftsættelse**, fra 60% i 2022 til 78% i 2024. Samtidig er der sket et fald i andelen af forsyninger, der opbevarer rør hos forsyningen (rørlager), fra 34% i 2022 til 22% i 2024. I begge perioder opbevares rørene dog primært overdækket og med endepropper.

Forbedret vandkvalitetskontrol:

Der er en **markant stigning i andelen af forsyninger, der tester for Kim22, coliforme og E. coli ved idriftsættelse**, fra knap 60% i 2022 til ca. 90% i 2024. Dette peger på en øget opmærksomhed på vandkvaliteten. Få forsyninger anvender dog stadig mere avancerede tests såsom BactiQuant- og ATP-måling.

Udvikling i skylleprocedurer:

**Skylleprocedurerne viser stor variation i praksis**, men det er tydeligt, at en større andel af forsyningerne anvender en svamp som en del af skylleproceduren, fra 55% i 2022 til 82% i 2024. Desuden er der en lille stigning i brugen af udskylningskasser, fra 45% i 2022 til 50% i 2024. Der ses også en stigning i særlige foranstaltninger i skylleproceduren for opstrøms materiale, fra 12% i 2022 til 24% i 2024.

Samlet set indikerer resultaterne fra spørgeskemaundersøgelserne en **positiv udvikling inden for procedurer og kontroller i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør i forsyningssektoren** fra 2022 til 2024.

## 11.2 Opbevaring af PE-rør

Undersøgelsen af opbevaringsmetoder for PE-rør før idriftsættelse har bekræftet hypotesen om, at nyproducerede rør, der tages i brug kort tid efter produktion, kan afgive flere organiske stoffer til vandbanen end rør, der har været opbevaret over tid og dermed har haft mulighed for at afgasse.

De vigtigste konklusioner inkluderer:

Større migration fra nyproducerede rør:

Nyproducerede rør og granulat viste højere migration af organiske stoffer, hvor nogle prøver oversteg grænseværdierne i EU's positivliste og DK-VAND.

Lavere migration ved specifikke opbevaringsmetoder:

PE-rør, der blev opbevaret over længere tid, udendørs, uden endepropper, eller som blev opvarmet/hedvandsrenset, viste generelt lavere koncentrationer af migrerede stoffer.

Potentiale for ændrede opbevaringsprocedurer:

**41% af forsyningerne udtrykte interesse i at ændre opbevaringsmetoder baseret på disse fund**, men praktiske udfordringer som logistik og risiko for kontaminering kan begrænse implementeringen.

### 11.3 Biofilm og vandkvalitet

Undersøgelsen har påvist, at nye PE-rør kan påvirke vandkvaliteten, især gennem forhøjede Kim22-værdier, som stiger markant inden for de første ca. 20 dage efter idriftsættelse. Dette er sandsynligvis et resultat af organiske stoffer, der migrerer fra de nye rør, hvilket stimulerer væksten af mikroorganismer som fx *Pseudomonas* og *Aquabacterium*, der kan nedbryde disse stoffer.

De vigtigste konklusioner inkluderer:

Forhøjede Kim22 efter idriftsættelse:

**Kim22 stiger ofte over grænseværdierne lige efter idriftsættelse af nye PE-rør**, men falder igen længere nedstrøms, især i systemer med ældre og moden biofilm, som ser ud til at fungere som en barriere mod de organiske stoffer og vandbanen.

Organiske stoffers rolle:

**Migration af organiske stoffer fra PE-rør stimulerer mikrobiel vækst i både vand og biofilm**, hvilket kan forklare de observerede peaks i Kim22. Dette understøtter hypotesen om, at de forhøjede Kim22 ikke nødvendigvis indikerer dårlig vandkvalitet, men snarere en **naturlig respons** på tilførsel af organisk materiale til et ellers næringsfattigt system.

Biofilmens beskyttende effekt:

**Eksisterende biofilm i drikkevandssystemer kan reducere effekten af Kim22-peaks og dermed beskytte mod evt. forringelse af vandkvaliteten ved forbrugerne**. Dette varierer dog afhængigt af biofilmens alder og andre faktorer i vandforsyningssystemet.

Disse resultater indikerer, at selvom nye PE-rør kan føre til midlertidige forhøjelser i Kim22, kan systemets eksisterende biofilm afhjælpe dette problem, hvilket **giver grundlag for en mere nuanceret vurdering af vandkvaliteten efter idriftsættelse af PE-rør**.

### 11.4 Mikrobiologiske analyser og skylleprocedurer

De vigtigste konklusioner inkluderer:

Colilert-analysen:

Denne metode er effektiv til påvisning og kvantificering af coliforme bakterier og *E. coli* i vand, hvilket er afgørende for at vurdere drikkevandets sikkerhed. En udfordring er dog, at detektionsgrænsen for metoden ligger på samme niveau som drikkevandskriterierne.

Hurtigmetoder for mikrobiologisk vandkvalitet:

Metoder som BactiQunt og ATP kan hurtigt måle større ændringer i den mikrobiologiske vandkvalitet, men kræver etablering af en baseline for hver specifik kontekst (område hvor der måles). De er nyttige til hurtige vurderinger, men ikke til små ændringer eller som erstatning for lovpålagt kontrol.

Molekylærbiologiske metoder:

qPCR og DNA-sekvensering er avancerede teknikker, der kan identificere og kvantificere specifikke mikroorganismer og gener i vand- og biofilmprøver. Disse metoder er værdifulde til dybdegående analyser af mikrobiologisk diversitet og til kildeopsporing ved en forurening.

Skylleprocedurer:

Skyllemetoder varierer meget og kan baseres enten på rørvolumen eller flow over tid. Skylning efter tid bruger typisk mere vand end skylning baseret på rørvolumen, men ingen specifik metode blev undersøgt detaljeret i projektet.

# 12. Formidling

Projektets resultater er løbende blevet formidlet i præsentationer og indlæg på diverse nationale og internationale konferencer. Det har sikret en god inddragelse af kommercielle analyselaboratorier, forskningsinstitutioner såvel som den danske vandbranche.

Publikationer, præsentationer og indlæg på konferencer:

Udførte:

1. [Effects of early biofilm formation on water quality during commissioning of new polyethylene pipes](#) (2022, journal paper)
2. [Microbial Degradation of Complex Organic Compounds in a Danish Drinking Water Pipeline Distribution System](#) (2022, poster)
3. [Beneficial effects of drinking water biofilm: Learnings from treatment processes in bio-filters and PE-pipes on improved water quality](#) (2022, poster)
4. [Effekt af organiske stoffer fra PE-rør på drikkevandsbiofilm](#) (2023, præsentation)
5. [Kortlægning af vandforsyningers idriftsættelsesprocedurer](#) (2023, præsentation)
6. [Effect of organic compounds migrating from PE pipes on drinking water biofilms](#) (2024, poster)
7. [Characterizing the development of biofilm in polyethylene pipes in the non-chlorinated Danish drinking-water distribution system](#) (2024, journal paper)
8. [Enhancing drinking water quality: Impact of biofilm in Danish PE pipe systems](#) (2024, præsentation ved IWA WWC & Expo 2024 i Toronto, Canada)

Accepteret, men ikke udført:

9. [Treatment and storage conditions influence migration of material monomers from PE-pipe](#) (19. september 2024, præsentation ved NORDIWA.org i København)
10. [Er mikrobiologisk eftervækst ved idriftsættelse lig en kogeanbefaling?](#) (27. november 2024, præsentation ved Dansk Vand Konference i Kolding)

Planlagte, under udarbejdelse:

11. Artikel i tidsskriftet Jord & Vand omhandlende "opbevaring af PE-rør inden idriftsættelse" (planlagt til 2025)
12. Videnskabelig artikel udarbejdet på data udført på University of Essex omkring nedbrydning af organiske stoffer med ung biofilm fra Fredsted (planlagt til 2025)
13. Videnskabelig artikel udført på data præsenteret på IWA WWC & Expo 2024 i Toronto (planlagt til 2025)



# 13. Referenceliste

1. Arvin, E., Brocca, D. & Mosbæk, H. 2000. Afgivelse af organiske additiver fra rør af polyethylen til drikkevand. In: NVK-2000. 2. Nordiske vandforsyningskonference. Drikkevandets kvalitet, pp. 57-62. Danske Vandværkers Forening, Århus.
2. Arvin, E., Brocca, D. & Mosbæk, H. 2001a: Forurening af drikkevand fra plastrør. Dansk Kemi, 82, (Tillæg 3), 3-4.
3. Arvin, E., Brocca, D. & Mosbæk, H. 2001b. Forurening af drikkevand fra plastrør. VVS, 38, 8-20.
4. Brocca, D., Arvin, E. & Mosbæk, H. 2000. Migration of organic additives from polyethylene pipelines into drinking water. In: 1st World Water Congress of the International Water Association, Paris, 3-7 July, 2000. CD-ROM, AGHTM, Paris.
5. Brocca, D., Arvin, E. & Mosbæk, H. 2002a. Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. Water Research, 36, 3675- 3680.
6. Brocca, D., Arvin, E. & Mosbæk, H. 2002b. Quantification of organic compounds being released from polyethylene pipelines into drinking water. Water Res. 36(15):3675-80. doi: 10.1016/s0043-1354(02)00084-2
7. Diera, T, Thomsen, AH, Tisler, S, Karlby, LT, Christensen, P., Rosshaug PS, Albrechtsen HJ, Christensen, JH. 2023. [A non-target screening study of high-density polyethylene pipes revealed rubber compounds as main contaminant in a drinking water distribution system. Water Research. 229:119480.](#)
8. [Directive \(EU\) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption.](#)
9. Fischer, LM, Fuglsang, IA, Denberg, M. 2012. Statusvurdering vedr. afgivelse af organiske stoffer fra plastrør til drikkevand. Miljøprojekt nr. 1443. Miljøministeriet.
10. Hasan S.A., Jabeen S., 2015. Degradation kinetics and pathway of phenol by Pseudomonas and Bacillus species. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 29(1), 45–53. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.991638>
11. Hinteregger, C., Leitner, R., Loidl, M., Ferschl A., Streichsbier F., 1992. [Degradation of phenol and phenolic compounds by Pseudomonas putida EKII.](#) Appl Microbiol Biotechnol 37, 252–259 (1992).
12. Lund, V. Anderson-Glenna, M, Skjevraak, I, Steffensen, I-L. 2011. Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PEX) pipes and effects on drinking water quality. Journal of Water and Health. 9(3):483-97.
13. Mahiuddin M.D., Fakhruddin A.N.M., Abdullah-Al-Mahin., 2012. [Degradation of Phenol via Meta Cleavage Pathway by Pseudomonas fluorescens PU1.](#) International Scholarly Research Notices, vol. 2012, Article ID 741820, 6 pages, 2012.
14. Nielsen, MN, Fuglsang, IA, Fischer, EV, Hansen, N. 2007. Undersøgelse af PEX rør til drikkevandsbrug. Miljøprojekt nr. 1167. Miljøministeriet.
15. Pelto-Huikko, A, Ahonen, M.; Ruismäki, M., Kaunisto, T. Latva, M. 2021. Migration of Volatile Organic Compounds (VOCs) from PEX-a Pipes into the Drinking Water during the First Five Years of Use. Materials 2021, 14, 746. <https://doi.org/10.3390/ma14040746>.
16. Powlowski J., Shingler V., 1994. Genetics and biochemistry of phenol degradation by Pseudomonas sp. CF600. Biodegradation 5, 219–236 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF00696461>
17. Projekt 7828.2015. 2018. Slutrapport: Biofilm i drikkevandssystemer: Optimeret idriftsættelse af rør og tanke og videreudvikling af biofilmsensor. Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTUF).
18. Skjevraak, I., Due, A., Gjerstad, K.O., Herikstad, H. 2003: Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. Water Research. 37:1912–1920
19. Skovhus TL, Søborg DA, Braga FS, Højris B, Kristensen KB, Hansen KL. 2022. [Effects of early biofilm formation on water quality during commissioning of new polyethylene pipes.](#) Environ Sci (Camb). 8(9):1992–2005.
20. Søborg DA., Højris B., Brinkmann K., Pedersen MR., Skovhus TL., 2024. Characterizing the development of biofilm in polyethylene pipes in the non-chlorinated Danish drinking-water distribution system. Biofouling. 2024 May 2:1-18. doi: 10.1080/08927014.2024.2343839.

21. Thomsen, AH, Karlby, LT, Christensen, P, Hansen, JB, Trettenes, U, Dideriksen, K, Rosshaug, PS, Diera, T, Christensen, JH, Albrechtsen, HJ. 2023. Bedre vandkvalitet til forbrugerne. Slutrapport Projekt ID: 4304.2018. VUDP, DANVA.
22. Zhang R., Wang X., Ali A., Su J., Wang Z., Li J., Liu Y., 2022. [Single-step removal of calcium, fluoride, and phenol from contaminated water by \*Aquabacterium\* sp. CZ3 via facultative anaerobic microbially induced calcium precipitation: Kinetics, mechanism, and characterization](#). *Bioresource Technology*, Volume 361, 2022.

# 14. Bilagsoversigt

Bilag 1: State-of-the-art of substances migrating from PE pipes to drinking water. *7 sider.*

Bilag 2: Spørgeskema 2022. Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet. *7 sider.*

Bilag 3: Spørgeskema 2022 note. Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet. *2 sider.*

Bilag 4: Spørgeskema 2024. Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet. *6 sider.*

Bilag 5-8: Bilagene omhandler videnskabelige resultater fra arbejdsplan 2-4. De er ikke publiceret sammen med denne rapport, da de danner grundlag for 3 videnskabelige artikler (se afsnit 12. Formidling).

# Bilag 1. State-of-the-art of substances migration from PE pipes to drinking water

This state-of-the-art is an overview of the knowledge of substances which may migrate from polyethylene (PE) pipes to drinking water. The purpose of the overview is to identify relevant substances to use for toxicity and degradation tests on drinking water biofilm.

## PE-pipes

Pipes produced from PE have been used in drinking water systems since the 1960s (Fischer et al, 2012). These pipes have been developed further since then, and today they are strong and robust, and their use is widespread. From 1990s, a third generation was developed. These are named PE 80 (identical to MDPE) and PE 100 (identical with HDPE). The durability can be calculated in accordance with ISO 9080 (Plastic piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation). The classification system is explained in ISO12162 (Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications – Classification, designation, and design coefficient). Other plastic materials applied in drinking water systems are PVC and PEX. Features such as long durability, low cost, and easy installation make such plastic pipes useful (Pelto-Huikko et al, 2021). There is no publicly available information on the exact composition of the pipes used for drinking water purposes or of the applied additives (stabilizers, dyes, and co-formulants (hjelpestoffer) as the raw materials are confidential (Fischer et al, 2012).

In a report from 2004, the materials in 78 Danish water utilities pipe network were found as: 52% PVC, 23% cast iron, 16% PE, 7% fiber cement and 2% other materials (Nielsen et al, 2004). As PE has been the most used pipe material for drinking water systems in Denmark since the 1980's (Fischer et al, 2012), the proportion of PE pipes has increased since then. The renewal of old pipelines with PE pipes is estimated to 0.8-1.5 % per year (Ryssel et al, 2015).

## Certification and approval schemes

All products and components in contact with drinking water must be suitable for drinking water purposes (Directive (EU) 2020/2184). For documentation that the products do not release harmful substances, taste, and odor above the national requirements (e.g. the Danish BEK nr. 1023 af 29/06/2023), it is possible to obtain a certificate issued by a private company or an approval issued by a governmental body.

The conditions for certificate or approval are:

- Type test (migration test) done by an external laboratory
- The manufacturer has a Quality Management System in use
- Audit/inspection of the manufacturing processes done by a third party
- Audit test (migration test) done by an external laboratory

## Certification of PE-pipes for drinking water

Certification schemes for PE-pipes used in drinking water systems are designed to ensure that the pipes meet high standards for safety, quality, and performance. The certification process typically involves rigorous testing and complying with national and international standards. Key certification schemes and standards used for PE-pipes in Denmark and European drinking water utilities include:

- **DS (Dansk Standard):** DS/EN 12201, a European standard for PE-pipes, fittings and systems used in water supply.
- **DVGW:** DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches), a German certification widely recognized in Denmark and across Europe.
- **KIWA:** Operates in many countries, including Denmark and typically involves testing according to European standards like EN 12201
- **RISE:** Nordic Poly Mark, recognized in Denmark and other Nordic countries.
- **ISO:** ISO 4427: An international standard for PE-pipes used in water supply. While not specific to Denmark, compliance with ISO 4427 is often a requirement for certification schemes in Denmark.
- **DK-VAND:** (explained below)

DK-VAND certificates cover water supply pipes, tanks, and fittings made of PE and PVC. The certificates are issued by Dancert, a subsidiary company under Danish Technological Institute. The durability and physical strength of the pipes and fittings are also requirements for obtaining a DK-VAND certificate, documented by the Nordic Poly Mark, and issued by INSTA-CERT.

The migration test and analysis of harmful substances for DK-VAND certificates are based on a formulation review and a toxicological assessment of the material. The requirements are stated "BEK nr. 1023 af 29/06/2023" and "Liste over drikkevandskvalitetskriterier" (Miljøstyrelsen, 2018). The analysis results of substances are in Denmark given as an absolute concentration 'C' from the pipe and fitting. The limit values are set based on the drinking water quality criterion, where the contribution from all products in the supply chain are included, so that the individual product does not contribute more than typically 10% of the total load for the most common substances. It is calculated how much the individual product can contribute at most in relation to the criterion at the tap (maximum concentration), considering how often the product occurs.

## European Directive 2020/2188

Within a few years, the European Directive 2020/2188 (Directive (EU) 2020/2184) will be implemented in all member states. At present, the Legislation proposal [L102](#) has been processed in the Danish Parliament. In January 2024, the European Parliament and Council passed the associated legal acts, which contain methods and positive lists for permissible substances.

For organic, cementitious, enamel, and ceramic materials, the testing requirements should be subject to a risk-based approach by categorizing the products that come into contact with water intended for human consumption. The risk-based approach ensures proportionate testing in relation to the human health risk of the final material. This means that products and components are divided into risk groups (RG1, RG3, RG2 and RG4) where the products with a larger wetted area have a greater scope of testing and supervision. The calculation of the estimated concentration at the tap  $C_{tap}$  is done by multiplying the migration rate with a conversion factor related to the product.  $C_{tap}$  must not exceed the maximum tolerable concentration at the tap  $MTC_{tap}$ . According to legal acts, the limit for Total Organic Carbon (TOC) in pipes will be  $C_{tap} \leq 0.5$  mg/l for the 3rd migration period (10th day of testing). This is a significant increase compared to the current Danish requirement, which is  $C \leq 0.3$  mg/l.

The limits for flavor and odor will also be significantly increased, allowing a threshold value for flavor (TFN) and odor (TON) of 8 for pipes with smaller inner diameter  $\leq 80$ mm. The current Danish requirement is no release of flavor and odor (TFN and TON = 1).

## Substances migrating from PE-pipes

New research and projects have identified numerous organic substances migrating from plastic pipes to drinking water (Arvin et al, 2000; Brocca et al, 2000; Arvin, 2001a; Arvin et al., 2001b; Brocca et al., 2002; Skjevraak et al, 2003, Nielsen et al, 2007, Lund et al, 2011, Fischer et al, 2012, Pelto-Huikko et al, 2021) which is also reflected in the proposed 1500 substances in the first version of the European positive list of permissible substances (DHI, 2021).

In the VUDP-project *Bedre vandkvalitet til forbrugerne*, an investigation of total migration of substances to drinking water from a variety of different materials was performed. By non-target analysis, numerous substances were identified which were found to migrate from rubber gaskets, epoxy coatings, and PE-pipes (Thomsen et al, 2023).

Migration of substances may include additives, e.g. stabilizers, dyes, and co-formulants (hjelpestoffer), and degradation products (Brocca et al, 2002). Stabilizers including antioxidants are applied to prevent degradation of the polymer matrix by UV-light, oxygen, or heat during production, storage, and use. Common substances in this group include a di-tert-butyl phenol group. Antioxidants (e.g. Irganox-substances) stabilize the plastic pipes by reactions with e.g. oxygen resulting in the production of degradation products. Physical deterioration, oxidation, hydrolyzing, thermal decomposition, and combination of these may also occur in the polyethylene itself which can be degraded into different alcohols, ketones, aldehydes and carboxylic acids. Dyes are often applied to color the drinking water pipes blue and are often chemically stable substances. Co-formulants include numerous substances with different functions and chemical compositions. This group includes substances added during production e.g. to accelerate the polymerization process (Fischer et al, 2012, Pelto-Huikko et al 2021).

Specific substances migrating from PE pipes to drinking water include (Brocca et al., 2002) (name: CAS number, detection limit (TI) in µg/L):

- 4-ethyl phenol: 123-07-9, <0.05
- 4-tert-butyl phenol: 98-54-4, <0.05
- 2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinone/ 2,6-di-tert-butyl-1,4-benzoquinone, 719-22-2, <0.5
- 2,4-di-tert-butyl phenol: 96-76-4, <0.5
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxy styrene: possibly 52858-87-4, <0.05
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxy benzaldehyde: 1620-98-0, <0.1
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxy aceto phenone: 14035-33-7, <0.2
- Cyclo hexa 1.4 dien, 1.5-bis (tert-butyl), 6-on, 4-(2-carboxy-ethylidene)/ 7.9-di-tert-butyl-1-oxaspiro[4.5]deca-6.9-diene-2.8-dione: 82304-66-3, <0.1
- 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methyl propanoate: 6386-38-5, <0.1
- 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propanoic acid
- 4-methyl-2,5-di-tert-butyl-phenol/ 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol/ 2,6-bis(1,1-dimethyl)-4-methyl phenol (BHT): 128-37-0, <0.05
- 2-tert-butylphenol: 88-18-6

In addition, substances related to PEX pipes used in building installations have been in focus of migration tests (Nielsen et al, 2007, Fischer et al, 2012).

- 5-methyl-2-hexanone: 110-12-3, <0.1
- 4-butoxy phenol: 122-94-1, <0.05
- methyl-tert-butyl ether (MTBE): 1634-04-4
- tert-butanol/ 2-methyl-2-propanol (TBA)

Brocca et al, 2002, and a following unpublished study by the same authors described in Nielsen et al, 2004, reported 20 to 30 substances in extracts from migration tests with highest concentrations for the first 10 substances on the above list, and specifically the compound 2,4-di-tert-

butylphenol (0.7-2.9 µg/L), 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxy acetophenone (0.8-6.6 µg/L), and cyclohexa-1,4-diene, 1,5-bis (tert-butyl), 6-on, 4-(2-carboxy-ethylidene) (9.3-538.5 µg/L). Further, they found general migration of substances (measured as non-volatile organic carbon, NVOC) throughout 60 days of examination.

Skjevrak et al, 2003 identified various organic substances migrating from PE pipes which were grouped into 6 classes: degradation products from antioxidants, esters, aldehydes, ketones, terpenoids, and aromatic hydrocarbons. They supported that degradation products of antioxidants may migrate from PE pipes to drinking water and identified three specific substances (2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinone, 2,4-di-tert-butylphenol, and 4-methyl-2,5-di-tert-butylphenol). A major migrating component from HDPE pipes was 2,4-di-tert-butylphenol which is a known degradation product from antioxidants such as Irgafos 168®. Skjevrak et al, 2005 further found degradation products from antioxidants such as Irgafos 168®, Irganox 1010® and Irganox 1076® used in HDPE pipes to be present in drinking water biofilm. Van der Kooij et al, 2005 found elevated biofilm production in PEX pipes compared with copper and stainless steel, which supports the hypothesis that plastic pipes can release assimilable organic carbon used by microorganisms as source of energy and carbon.

Lund et al, 2011 studied migration of volatile organic compounds (VOCs) from PEX pipes in a long-term study. The migration of VOCs was low and decreased over time. Substances 2,4-di-tert-butylphenol and methyl tert-butyl ether (MTBE) were the two major substances detected. Additionally, the values only decreased below requirements (US EPA) after 5 months. Furthermore, it was found that pipes could negatively affect odor of drinking water for up to 1 year.

Nielsen et al, 2007 showed that high quantities of non-volatile organic matter (NVOC) migrate from PEX pipes to drinking water, especially under stagnant conditions. In addition, the study concluded that the migration in field studies is much less than in laboratory studies.

Fischer et al, 2012 confirmed that migration in the distribution system is much less than what is found in laboratory tests. They concluded on recent studies on migration of organic substances from PE pipes to drinking water and documented findings of 2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinone (<0.05-3.6 µg/L), 2,4-di-tert-butylphenol (<0.05-3.1 µg/L), 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyde (<0.05-1.2 µg/L), 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyacetophenone (<0.05-1.1 µg/L), 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro(4.5)-deca-6,9-diene-2,8-dione (<0.05-3.0 µg/L), and 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methyl propanoate (<0.05-1.4 µg/L). Further, they pointed out that migration of single substances was higher for PEX than PE pipes. Migrating substances correlating with the cross-linking process were found as 5-methyl-2-hexanon (<0.05-16 µg/L) and methyl tert-butyl ether (MTBE) (<0.05-179 µg/L). Comparing the total migration of substances (NVOC) between PE and PEX, they found up to 0.5 mg/L and up to 3.5 mg/L in 3x3 days of extraction in laboratory test, respectively, for the two types of pipes. Fischer et al, 2012 includes a list of applied additives in PE and PEX pipes (Bilag 1) and a list of substances measured in water from PE and PEX pipes (Bilag 2).

A Ph.D. study further concluded that the migration from plastic pipes to drinking water was significantly higher during turbulent flow compared to laminar flow (Denberg, M. 2009). However, individual substances migrating from PE pipes are in general expected to be found in concentrations that may supposedly not pose any health risk by themselves. However, cocktail effects from exposure to different substances, combinations with exposure from other sources and effects of degradation products are not fully understood. Health effects of plastic pipes on drinking water is evaluated based on toxicological analysis combined with literature study. Problematic substances are often given a Tolerable Daily Intake value (TDI-value) that describes how many milligrams of compound per kg of body weight is acceptable to ingest per day throughout a person's life without any health risks.

The VUDP-project *Bedre vandkvalitet til forbrugere* provides insights into compounds migrating from rubber gaskets, PE pipes and epoxy coating when the materials are in contact with drinking water. A total of 133 compounds migrating from PE pipes was detected. A larger total migration of organic matter (NVOC) from rubber gaskets compared to PE pipes was found. From 51 compounds detected in water, 12 were assigned to migrate from HDPE (Diera et al, 2023). Migration tests of PE pipes showed the highest concentrations for degradation products from antioxidants

incl. 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methylpropane, 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxystyrene and 2,4-di-tert-butylphenol. For 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxystyrene, the concentration increased from the 1<sup>st</sup> to the 3<sup>rd</sup> migration period, causing a potential conflict with the certification schemes (Thomsen et al, 2023).

Insights into substances migrating from materials in contact with drinking water benefit the water industry. First, by revealing the need for new analytical parameters and specifications for the materials in contact with drinking water. Second, by encouraging the development of new materials (e.g. PE pipes) or storage methods with lower leaching of undesirable substances. And third, leading to proper implementation and commissioning procedures for materials in contact with drinking water.



## References

1. Arvin, E., Brocca, D. & Mosbæk, H. 2000. Afgivelse af organiske additiver fra rør af polyethylen til drikkevand. In: NVK-2000. 2. Nordiske vandforsyningskonference. Drikkevandets kvalitet, pp. 57-62. Danske Vandværkers Forening, Århus.
2. Arvin, E., Brocca, D. & Mosbæk, H. 2001a: Forurening af drikkevand fra plastrør. Dansk Kemi, 82, (Tillæg 3), 3-4.
3. Arvin, E., Brocca, D. & Mosbæk, H. 2001b. Forurening af drikkevand fra plastrør. VVS, 38, 8-20.
4. BEK nr. 1023 af 29/06/2023. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Danish Ministry of the Environment, Denmark. Available at: [Drikkevandsbekendtgørelsen \(retsinformation.dk\)](https://retsinformation.dk/retsinfo/1023-2023)
5. Brocca, D., Arvin, E. & Mosbæk, H. 2000. Migration of organic additives from polyethylene pipelines into drinking water. In: 1st World Water Congress of the International Water Association, Paris, 3-7 July, 2000. CD-ROM, AGHTM, Paris.
6. Brocca, D., Arvin, E. & Mosbæk, H. 2002. Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. Water Research, 36, 3675- 3680, doi: 10.1016/s0043-1354(02)00084-2.
7. Denberg, Martin. 2009. Release of Organic Compounds from Polymer Pipes used in Drinking Water Distribution. PhD Thesis. Department of Environmental Engineering DTU. Link: [www2.er.dtu.dk/publications/fulltext/2009/ENV2009-015.pdf](http://www2.er.dtu.dk/publications/fulltext/2009/ENV2009-015.pdf).
8. Diera, T, Thomsen, AH, Tisler, S, Karlby, LT, Christensen, P., Rosshaug PS, Albrechtsen HJ, Christensen, JH. 2023. [A non-target screening study of high-density polyethylene pipes revealed rubber compounds as main contaminant in a drinking water distribution system](#). Water Research. 229:119480.
9. DHI. 2021. [EU harmoniserer kriterier for drikkevandsmaterialer](#).
10. [Directive \(EU\) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption](#).
11. Fischer, LM, Fuglsang, IA, Denberg, M. 2012. Statusvurdering vedr. afgivelse af organiske stoffer fra plastrør til drikkevand. Miljøprojekt nr. 1443. Miljøministeriet.
12. Lund, V. Anderson-Glenna, M, Skjevraak, I, Steffensen, I-L. 2011. Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PEX) pipes and effects on drinking water quality. Journal of Water and Health. 9(3):483-97.
13. Miljøstyrelsen. 2018. Liste over drikkevandskvalitetskriterier. Miljø og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen. Available at: [Brev \(sbst.dk\)](https://www.mst.dk/~/media/10363488/10363488.pdf).
14. Nielsen, G, Thomsen T, Lind, S, Lindhardt, B, Arvin, E. 2004. Afsmitning til drikkevand fra plastrør anvendt til vandforsyningsformål – Identifikation af potentielle stoffer. Vandpanelet. DANVA. ISBN: 87:90455-43-6.
15. Nielsen, MN, Fuglsang, IA, Fischer, EV, Hansen, N. 2007. Undersøgelse af PEX rør til drikkevandsbrug. Miljøprojekt nr. 1167. Miljøministeriet.
16. Pelto-Huikko, A, Ahonen, M.; Ruismäki, M., Kaunisto, T. Latva, M. 2021. [Migration of Volatile Organic Compounds \(VOCs\) from PEX-a Pipes into the Drinking Water during the First Five Years of Use](#). Materials 2021, 14, 746.
17. Ryssel, S, Arvin, E, Lützhøft, H, Olsson, M, Procházková, Z, Albrechtsen, H. 2015. Degradation of specific aromatic compounds migrating from PEX pipes into drinking water. Water Research. 81:269-278.
18. Skjevraak, I., Due, A., Gjerstad, K.O., Herikstad, H. 2003: Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. Water Research. 37:1912–1920
19. Skjevraak, I, Lund, V., Ormerod, K, Herikstad, H. 2005. Volatile organic compounds in natural biofilm in polyethylene pipes supplied with lake water and treated water from the distribution network. Water Research. 39(17):4133-4141.
20. Thomsen, AH, Karlby, LT, Christensen, P, Hansen, JB, Trettenes, U, Dideriksen, K, Rosshaug, PS, Diera, T, Christensen, JH, Albrechtsen, HJ. 2023. Bedre vandkvalitet til forbrugerne. Slutrapport Projekt ID: 4304.2018. VUDP, DANVA.
21. Van der Kooij, D. Albrechtsen, HJ, Corfitzen, CB, Ashworth, J, Parry, I et al. 2005. CPDW Project. Assessment of the Microbial Growth Support Potential of Products in Contact with Drinking Water. EUR 20832 EN. 2003. JRC25998.

# **Bilag 2. Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet**

Ved idriftsættelse af nye PE-rør, formodes der at være en særlig risiko for migration af stoffer fra materialet til drikkevand, ligesom idriftsættelse ofte er omfattet af et uhensigtsmæssigt vand- og energiforbrug indtil de mikrobiologiske kravværdier, lever op til drikkevandskriteriet. Uanset om der er tale om nyanlæg eller reparation, er det afgørende at driften hurtigt og sikkert kan genetableres.

Fra projektets start, blev der indsamlet viden om forsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet. Det blev antaget, at forskellige procedurer bruges af forskellige store og små forsyninger, hvorfor der bør være en stor viden i at lære af hinandens nuværende procedurer. Konkret, indsamlede projektet viden gennem:

1. Et spørgeskema om vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer 2022
2. Et opfølgende diskussionsmøde med interesserede deltagere af spørgeskemaet

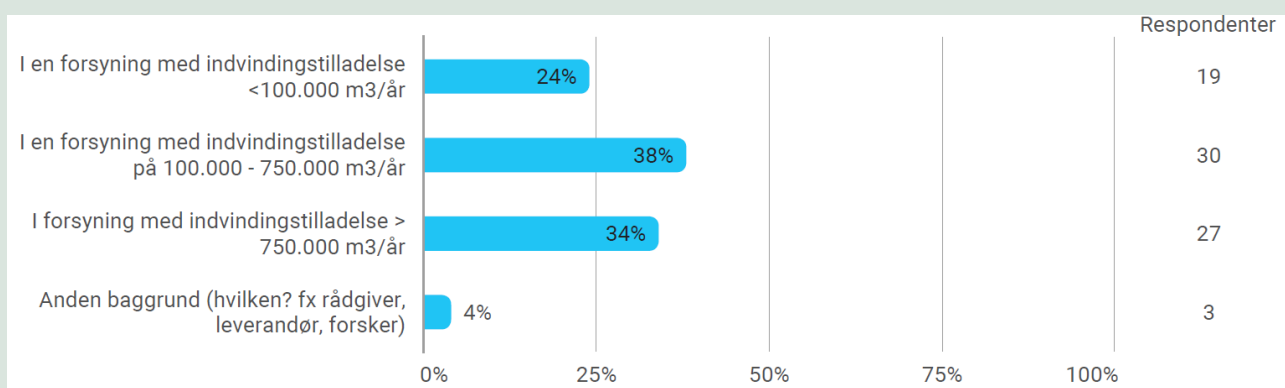
Ved projektafslutning blev resultaterne sammenlignet med en opfølgende spørgeskemaanalyse (2024) ligesom de vigtigste resultater blev samlet i vejledninger til best practice for idriftsættelse af PE-rør.

Dette notat er kun en sammenstillende analyse baseret på spørgeskemaundersøgelsen gennemført 2022. De øvrige resultater findes i særskilte notater.

## **Resultater af spørgeskemaundersøgelsen 2022**

### **Deltagere**

Der deltog 79 personer i undersøgelsen dækkende teknikere, maskinmestre, montører/smede, tilsynsførende, vandværksbestyrere, driftsledere, teamledere, projektledere, bestyrelsesformænd, administratorer og specialister fra i alt mindst 22 forskellige store og små forsyninger, 2 rådgivere og 1 montør. Fordelingen af respondenter efter ansættelsesforhold var som på FIGUR 1.



**FIGUR 5.** Ansættelsesforhold for respondenter. Total antal forsyninger 22.

### Idriftsættelsesprocedure

Det var særligt interessant at forstå, hvorvidt både store og små forsyninger har etablerede idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet. Der var 29% af de adspurgte, der havde en skriftlig idriftsættelsesprocedure, mens 71% håndterede hver idriftsættelse enkeltvis. For de sidstnævnte, havde enkelte altid de samme rutinerede folk til at udføre idriftsættelsen, mens andre havde skriftlige procedurer for gennemskylning eller prøvetagning, men ikke specifikt for idriftsættelse af PE-rør.

De skriftlige idriftsættelsesprocedurer blev for de flestes tilfælde (45%) opdateret efter behov. For 10% blev de opdateret årligt og for 18% sjældnere. For 27% var der ikke kendskab til, hvor ofte en opdatering fandt sted.

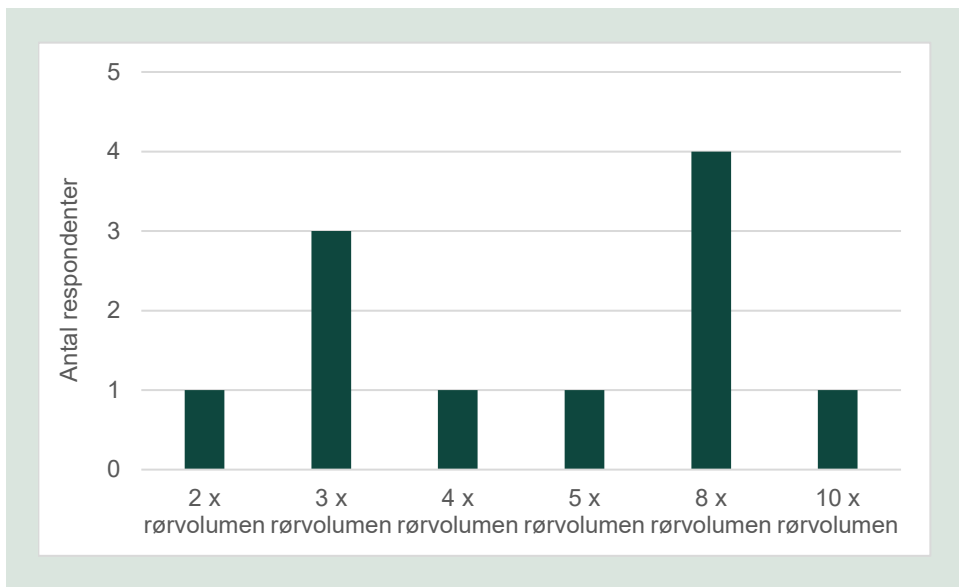
### Opbevaring af rør inden idriftsættelse

Opbevaring af rør inden idriftsættelse var en central del af projektets undersøgelser, idet det formodes, at nyproducerede rør, der idriftsættes kort efter produktion, vil have en større effekt på vandkvaliteten ved afsmiltning af organiske stoffer end rør, der har været opbevaret en periode og har haft tid til delvist at afgasse. Erfaringen fra flere forsyninger er, at det varierer, hvorvidt man får leveret rørene til egen opbevaring eller direkte leveret til projektstedet. For 60% af respondenterne, blev PE-rør opbevaret på stedet for idriftsættelse. Dvs. med rørleverance direkte til projektstedet og opbevaring i få dage til uger inden idriftsættelse. 34% opbevarede rørene hos forsyningen (rørlager) inden idriftsættelse, men for enkelte afhang det dog af pladsforhold mm. Opbevaringen var ofte over uger til måneder, hvor rørene overvejende blev opbevaret overdækket og med endepropper monteret. En enkelt respondent melder om opbevaring op til et år mens en anden melder om opbevaring i flere år. Yderligere meldes om både indendørs og udendørs opbevaring af rør. De resterende 6% havde ikke viden om opbevaring.

### Skylleprocedure

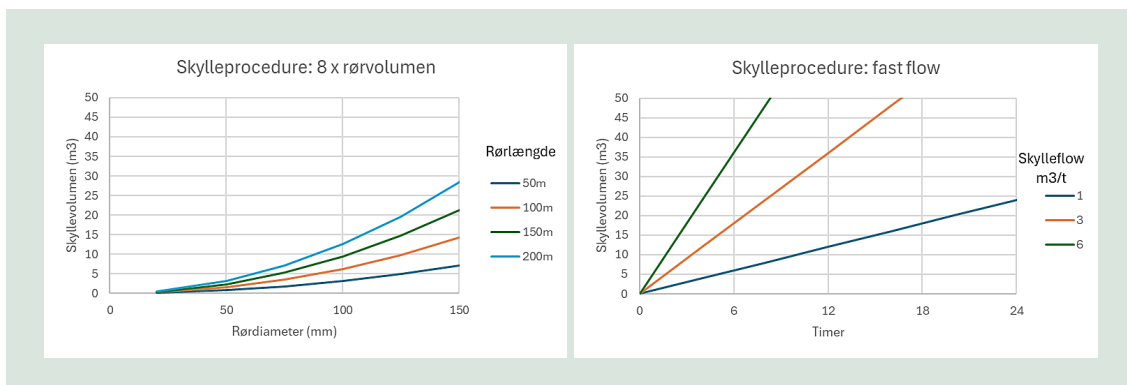
Skylleproceduren varierede meget for de enkelte forsyninger, hvilket viser et stort potentiale for standardisering og optimering af idriftsættelsesproceduren. Dette både i forhold til dokumentation af, hvordan der skylles for at opnå den bedst mulige vandkvalitet (både mikrobiologi og afsmiltning) inden vandet sendes til forbrugeren, men også i forhold til at spare mandetimer, analyser og vand under idriftsættelsen. Der var 11 forsyninger, der rapporterede at skylleproceduren var bestemt af rørvolumen, som det ses på FIGUR 2. Der blev rapporteret om mængder fra 2 til 10 x rørvolumen, heraf med 3 eller 8 x rørvolumen for de fleste.

For andre forsyninger, var skylleproceduren ikke bestemt af volumenet, men derimod af et givent flow i en periode. Skylleflowet var for de fleste bestemt af rørdimensionen, men var ofte gerne så høj som mulig, da skylning også er en mekanisk rensning af rørene. Der er noteret 3 m<sup>3</sup>/h, 6 m<sup>3</sup>/h og 2 cm/s blandt svarene. Varigheden af skylleproceduren afhang typisk af tiden indtil der lå en godkendt vandanalyse.



**FIGUR 2.** Fordeling af antal rørvolumen for respondenter, hvor skylleproceduren var bestemt af volumen.

Selvom både rørdimension, flow og varighed skal ses samlet, når skylleproceduren bestemmes, så er det forsøgt at sammenligne vandforbrug når skylleproceduren primært var bestemt ved rørvolumen eller et givent flow i en given periode. Resultatet er præsenteret i FIGUR 3. Som det ses, vil skylning efter tid som regel bruge langt mere vand end skylning efter rørvolumen (fx 100 m  $\varnothing$ 100mm rør ved 8 X volumen giver 6 m<sup>3</sup>, mens 5 timers skylning ved 3 m<sup>3</sup>/t giver 15 m<sup>3</sup>).



**FIGUR 3.** Sammenligning af vandforbruget ved de to gængse skyllemetoder.

Enkelte forsyninger afveg fra de to ovenstående procedurer, hvor skylleproceduren afhang af skyllevolumen eller en skylletid indtil en akkrediteret analyse forelå. For disse rapporteredes:

1. Skylleproceduren vurderes fra gang til gang.
2. Vand står i ledning 1 døgn, dernæst skylles i 8 timer.
3. Flow der ikke giver problemer ved flushing i forhold til løsning af biofilm fra andre strækninger.
4. Behandling af ledning med ECA (hypochlorsyre), dernæst opfølgning med vandprøver.
5. Der skylles efter erfaring til vandet står rent.
6. Efter behov til vandet står rent.
7. Det styrer smeden.

Uafhængigt af om skylleproceduren var bestemt af volumen, et given flow eller noget tredje, så blev der generelt taget hensyn til det idriftsatte rørs dimension.

I forbindelse med skylleproceduren blev der yderligere spurgt til særlige ændringer i skylleproceduren afhængigt af opstrøms rørmateriale. For 88% af respondenterne blev der ikke foretaget ændringer i skylleproceduren. For de resterende 12% lød kommentarerne:

1. Det vurderes, at det er en fordel pga. rørmateriale og erfaring, men det benyttes sjældent.
2. Hvis vi kobler på et "problematisk" system som f.eks. støbejern, vil vi skylle på eksisterende system først. Gerne 8x nyt rørs volumen som minimum.
3. Vi skyller på eksisterende system, hvis størrelsen på nyt rør er meget forskellig fra gammelt rør.
4. Vi samler først rørene, når vi har testet de nye.
5. Det giver mening at skylle opstrøms rør, hvis dette er støbejern.
6. Vi har ikke støbejern, så vi skyller ikke opstrøms rør.
7. Vi har kun plastledninger, så vi skyller ikke opstrøms.
8. Det vurderes individuelt om vi skal skylle opstrøms.
9. Vandværket foretager ikke selv skylleproceduren.
10. Jeg har kun kendskab til én forsyning, der gør dette.
11. Vi har ikke støbejernsrør eller belægninger i øvrige rørsystemer.
12. Tidligere har der været en særlig procedure for støbejern, men da PE også kan afgive lugt, har vi ensrettet proceduren.

Godt halvdelen (55%) af de adspurgte anvendte en svamp som en del af skylleproceduren. Enkelte har kommenteret, at en svamp kun anvendes i sjældne tilfælde. Tilsvarende anvendte knap halvdelen (45%) en udskylningskasse (fx indeholdende kuglehane, kontraventil, måler, prøvehane og snavssamler) i forbindelse med idriftsættelsen. Enkelte har en skyllekasse under opbygning, enkelte anvender ikke en skyllekasse men en tilsvarende enhed eller der udføres blot visuel kontrol.

### Desinfektion

Der anvendes ingen desinfektion for 41% af respondenterne. Én kommenterer, at det skyldes, at der altid anvendes en ny svamp. For 29% desinficeres svampen, hvilket svarer til, at omtrent halvdelen af de forsyninger, der anvender en svamp, desinficerer denne. Én kommenterer, at svampen i den forbindelse gennemvædes i en plastiksæk med Rodalon inden brug.

For 10% tilføres et desinfektionsmiddel i skyllevandet, mens 14% kun anvender desinfektion i særlige tilfælde. Disse særlige tilfælde dækker:

1. I forbindelse med installation.
2. Ved overskredne parametre på to følgende prøver, taget på forskellige dage.
3. Hvis der er mistanke om skidt i røret.
4. Ved transmissionsledninger.
5. Ved idriftsættelse af gamle nødledninger, som ikke har været i drift.
6. Hvis det vurderes for den enkelte situation at være nødvendigt.
7. Hvis rørene er flossede ved modtagelse.

### Analyser

Det er antaget i projektet at flere forsyninger idriftsætter uden fuld dokumentation for PE-rørets påvirkning af vandkvaliteten og biofilmens opbygning, selvom de fleste idriftsætter på baggrund af godkendte vandanalyser. Det er erfaringen fra MUDP-projekt *Biofilm i drikkevandssystemer: Optimeret idriftsættelse af rør og tanke og videreudvikling af biofilmsensor*, at der sker forhøjede kimtal efter flushing i en uges tid, og at disse kimtal daler igen til under drikkevandskriterier efter omkring 15 dages tid. Projektet viste også, at kimtallene faldt yderligere efter 8-9 måneders drift, når biofilmen var moden og i balance med vandfasen.

Den overvejende del af forsyningerne (knap 60%) tester for Kim22, coliforme og *E. coli* i forbindelse med idriftsættelse, nogle suppleret med Kim37 (31%). Derudover tester få med BactiQuant eller ATP (<10%), mens nogle forsyninger slet ikke tester. Der er få, der kommenterer, at

prøver og parametre er afhængige af typen af ledningsarbejde. Nogle analyserer fx ikke på forsyningsledninger, men kun på transmissions- og råvandsledninger.

Der er også forskel på, hvor ofte prøver udtages og analyseres. Nogle tager prøver før udskylning (af vandets normale kvalitet, 20%), nogle lige efter udskylning, dvs. når normal drift er genoptaget (22%), nogle lige inden levering af vand til forbrugerne, før normal drift genoptages (37%), mens nogle tager prøver løbende under hele idriftsættelsesperioden (35%). 20% har ikke kendskab til analysearbejdet.

Af kommentarerne ses også de forskellige måder at håndtere analysearbejdet på. Eksempelvis:

1. Analyse skal være ok før levering af vand til forbrugere.
2. Der testes ikke på forsyningsledninger.
3. Første gang efter der er skyllet 8 x rørvolumen. Anden gang dagen efter.
4. Der skylles indtil der foreligger en ren prøve.
5. Det er meget forskelligt, hvad de enkelte forsyninger gør.
6. Der tages to ugentlige prøver løbende af interimsvandet/den midlertidige forsyning til forbruger.

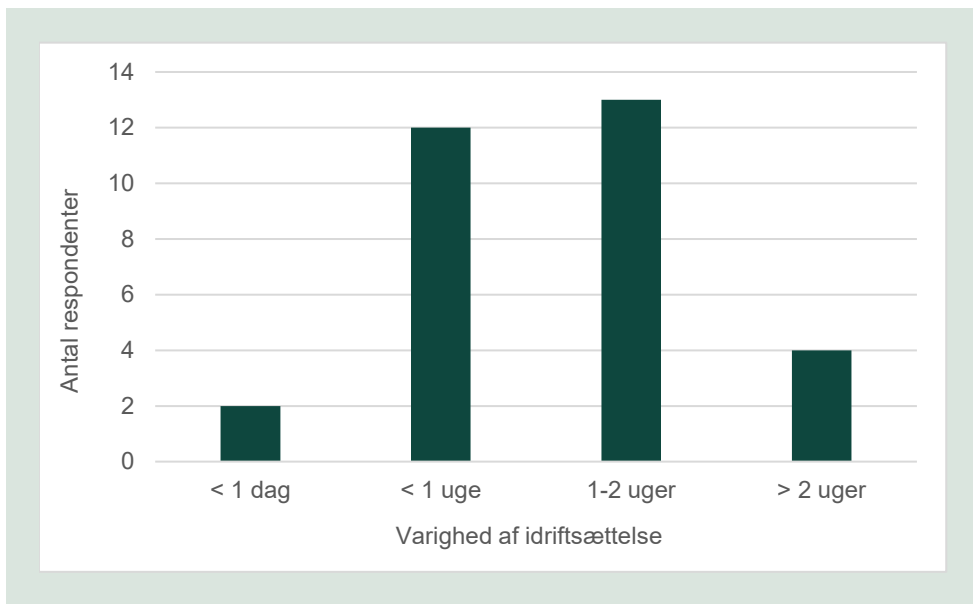
Derudover er der også forskellige krav til, om analyserne skal udtages akkrediteret. Her udfører 45% akkrediteret prøvetagning. For flere forsyninger, hvor medarbejdere i stedet udtager prøverne, er der kommentarer om, at de udtager dem følgende den akkrediterede metode.

### **Varighed af idriftsættelse**

Varigheden af idriftsættelsen fra rørene er færdiglagt til almindelig drift genoptages med levering af vand til forbrugerne varierede fra timer til uger. For de forsyninger, der havde uddybet svaret med specifikke tider, fordelte svarene sig som i FIGUR 4. Her kan det ses, at den typiske tid for idriftsættelse af nye PE-rør i drikkevandssystemet er få dage op til 2 uger.

For de forsyninger, der ikke havde angivet et specifikt tidsinterval for skylleperioden, var svarene om, hvornår driften genoptages med levering af vand til forbrugerne repræsenteret ved sætninger som:

1. Efter udskylning.
2. 1 dag til 1 ½ år.
3. Det kommer an på om der er en ny udstykning eller renovering.
4. Meget forskelligt. Få dage til flere måneder.



**FIGUR 4.** Fordeling af varighed for idriftsættelse for respondenter, der har angivet specifikt tidsinterval.

### Transmissionsledninger

De ovenstående svar er givet i forhold til idriftsættelse af forsyningsledninger i PE. Idet der formodes at være forskelle for idriftsættelsesproceduren for forskellige ledningsdimensioner, blev der specifikt spurgt til transmissionsledninger (Typisk:  $\varnothing 55$ - $\varnothing 1250$  mm).

De fleste forsynings kommenterer i undersøgelsen, at de håndterer idriftsættelser af alle PE-rør ens, dvs. uanset ledningsdimension. Skylltiden forlænges dog ofte og er bestemt af opnåelse af en godkendt vandanalyse inden vandet sendes til forbrugeren. Derudover er der flere forsynings, der ved idriftsættelse af transmissionsledninger inkluderer rensegris og desinfektionsmiddel.

Udvalgte kommentarer lyder:

1. Ledning renses med svamp og skylning sættes i gang og varer til der er godkendt analyse.
2. Samme procedure anvendes ved transmissionsledninger som ved forsyningsledninger.
3. Lang tids udskyl, da det er iltfattige forhold som gør, at dannelse af biofilm tager længere tid.
4. Vi har ikke transmissionsledninger.
5. VVS-firma laver den nødvendige udskylning.
6. Længere skylletid samt yderligere analyser.
7. Der udtages løbede prøver med eget udstyr, kontakt til vores kommune (Grundvandsgruppen) når der foreligger ATP prøvesvar, om der kan gives lov til sammenlægning med eksisterende ledningsmateriale, med opfølgende akkrediteret prøvetager.
8. Efter udført sammensvejsning renskylles ledningen indtil vandet ser rent ud. Herefter indsættes der en rensegris og der tilsættes et desinfektionsmiddel, således hele strækningen bliver desinficeret. Røret henstår i et par timer inden det renskylles. Herefter er røret klar til idriftsættelse.
9. Der er ingen særlige forhold.
10. Skærpet krav til analyse.
11. Vi anvender et akkrediteret analysefirma til test på sådanne ledninger.

### **Idriftsættelse af ledning, der har stået med vand**

Idriftsættelse af ledninger, der har stået med vand i længere tid, fx i forbindelse med en udstykning, har i nogle tilfælde vist sig problematiske. Der blev således spurgt til særlige forhold ved idriftsættelse af disse.

En enkelt forsyning bekræfter problematikken ved at rapportere om dårlig vandkvalitet i et område, hvor en ledning er taget i brug men endnu ikke af alle forbrugere i et område.

Med hensyn til idriftsættelse, så håndterer flere forsyninger denne som for nye PE-rør, der ikke har stået med vand. Nogle supplerer dog analyserne med interne prøver, ekstra lang skylletid eller rensgrise med desinfektionsmiddel. Derudover kan der være anbefaling til de indflyttende om selv at skylle systemet igennem. Andre forsyninger kommenterer at de ikke har mødt denne problematik.

Udvalgte kommentarer lyder:

1. Der udtages interne prøver.
2. Så vidt mulig etableres ledninger så der er flow på efter skylning og godkendt analyse.
3. Dette er bygherrens ansvar. Kun bygherren kender tidspunktet for ibrugtagning. Udskylningen foregår inde ved tapsted hos forbrugeren eftersom vandanlægget er udført og reetablering er udført.
4. Vi har udført forsøg på en byggemodning, der havde stået i flere år uden forbrug, og overraskende nok, så var vandkvaliteten god, og efter en gennemskylning under alle kravværdier.
5. Har ikke denne problematik.
6. Vi lader vandet løbe til vi er sikre på det er nyt vand, der er i ledningen.
7. Ved udstykninger skylles ekstra godt (ekstra længe).
8. Ved udstykninger kontrolleres vandet for kim og *E. coli* efter ledningssystemet er færdigt og gennemskyllet. Når der sættes måler på de enkelte boliger gennemskylles installationerne og jord- og stikledning.
9. Der skal bruges meget vand.
10. Længere skylletid samt yderligere analyser.
11. Standard skylleprocedure anvendes.
12. Der er også kendskab til opståelse af bakterier, som er dårlige for vores helbred, og derfor bør der være et øget fokus på den løbende idriftsættelse, men ejerskabet besværliggør dette.
13. Hvis muligt anbores stik ikke før udsigt til stabilt forbrug.
14. Her er vi særligt opmærksomme på "lugt" og "klarhed", og vi skyller også længere tid og med en større mængde i opstart af udskylningen, her bliver også foretaget analyser fra et akkrediteret firma.



# Bilag 3. Nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet

Der var 79 respondenter på spørgeskemaet fra 22 små og store forsyninger, 2 rådgivere og 1 montør. Knap 20 var med til diskussionsmødet.

## Skylleprocedure

Langt de fleste forsyninger skyller en given volumen svingende fra 2x til 10x rørvolumen og flere anvender en svamp forud. Der var også eksempler på et givent flow i en given periode, og ét eksempel på at vandet stod med desinfektionsmiddel i røret inden det blev skyllet 1x volumen. Måske viser disse forskelligheder at nogle kan optimere processen og fx spare vand. For flere stoppes skylleprocessen, når vandet er visuelt rent.

Der var enighed om, at vandets hastighed havde betydning for skylleprocessen. Umiddelbart, jo højere hastighed og turbulent strømning, des kortere skylleperiode. Ligeledes vil skylleproceduren også afhænge af, hvor der idriftsættes eller hvor langt et rør, der idriftsættes.

I forbindelse med skylleprocessen er det vigtigt at tænke på, hvordan man kommer af med vandet, samt hvad der findes opstrøms (fx pre-flush af støbejernsrør).

## Analyser

For langt de fleste projekter analyseres for kimtal<sup>22</sup> samt *E. coli* og coliforme. Prøvetidspunktet varierer mellem forsyningerne fra alt imellem 15 min (som bekræftelse på effekten af rørbetjeningen snarere end effekten af idriftsættelsen, hvor de høje kimtal er forventet) til at der prøvetages ved start af et projekt og flere gange med dages mellemrum.

For nogle forsyninger er det lykkedes at gå væk fra kimtallene, hvorfor der kan idriftsættes hurtigere (grundet den kortere svartid på *E. coli* og coliforme i forhold til kimtal). De højere kimtal et par uger efter idriftsættelse er efterhånden forventede, og det tyder ikke på, at mikroorganismerne, der giver anledning hertil, er sundhedsskadelige. Derudover ses sjældent niveauer helt op til 2000 CFU/ml (kogeanbefaling) selvom niveauerne overskrider grænseværdien på 200 CFU/ml.

Myndighederne tolker deres område meget forskelligt, og det er ikke alle, der kan acceptere, at der idriftsættes kun på baggrund af analyse af *E. coli* og coliforme. Det skaber forskelle mellem, hvordan forsyningerne udfører tingene. Vi kan og bør kunne gøre det på samme måde i DK. Standardisering vil også gøre det nemmere at få en faglig diskussion. Det vil være fordelagtigt hvis MUDP-projektet her kan bidrage med dokumentation til myndigheder, så er vi på vej til en fælles procedure. For eksempel kan det være relevant at indsamle de gode argumenter for at gå væk fra kimtals-analyserne. VIA University College, Grundfos og Aarhus Vand har lige indsendt en artikel om sammenhængen mellem vandkvalitet og biofilmsdannelse under idriftsættelse, hvori der ikke findes nogle sundhedsskadelige mikroorganismer ved analyse af bakterier fra kimtalsplader (Titel: *Effects of early biofilm formation on water quality during commissioning of new polyethylene pipes*).

## Opbevaring af rør

Flere forsyninger har ingen overvejelser om opbevaring. Rørene leveres for de fleste til idriftsættelsesstedet, hvor de opbevares i dage til uger, afproppet (tjekkes ved ankomst), inden de idriftsættes. Når rør opbevares længere tid hos forsyninger er det for at have et lager, hvis der opleves brud.

Vi diskuterer problematikker ved opbevaring på land (påvirkning fra gylle) og i by (folk, der tager endepropper af). Der gives eksempler på forurening ved udendørs opbevaring, så hvis rør skal opbevares over længere tid, anbefales indendørs opbevaring på fx rørlager hos forsyningen.

MUDP-projektet, som spørgeskemaundersøgelsen er en del af, har fokus på organiske stoffer, der frigives fra PE-rør, og hvordan man kan udnytte biofilmen som en biologisk barriere, så stofferne ikke når vandbanen og forbrugeren. Det er svært for forsyningerne at forholde sig til om rør bør afgasse. Der er ingen tvivl om at rørene frigiver stoffer, men der sættes spørgsmålstegn ved, om ikke DK-vand ordningen er tilstrækkelig. På den ene side: er der overhovedet et (sundhedsskadeligt) problem? På den anden side: vi ved rørene frigiver miljøfremmede stoffer til vandbanen, og vi kender ikke den fulde effekt for vandkvaliteten.

**Generelt:** Behovet for dokumentation af procedurer og analysearbejde er det samme for små og store forsyninger: Hvad er der evidens for? Hvad skal der måles for? Hvad er de gode erfaringer? Hvordan formidles erfaringer bredt mellem store og små forsyninger? Kan vi få nogle forsyninger til at dokumentere nogle udvalgte projekter - Helt fra røret modtages til det er i drift? Dette kan MUDP-projektet bidrage til. Vi deler **TREFORs skylleprotokol som eksempel**.

Venlig hilsen,  
MUDP-projektgruppen fra VIA University College, Aarhus Vand, TREFOR, Teknologisk Institut og Nordisk Wavin.

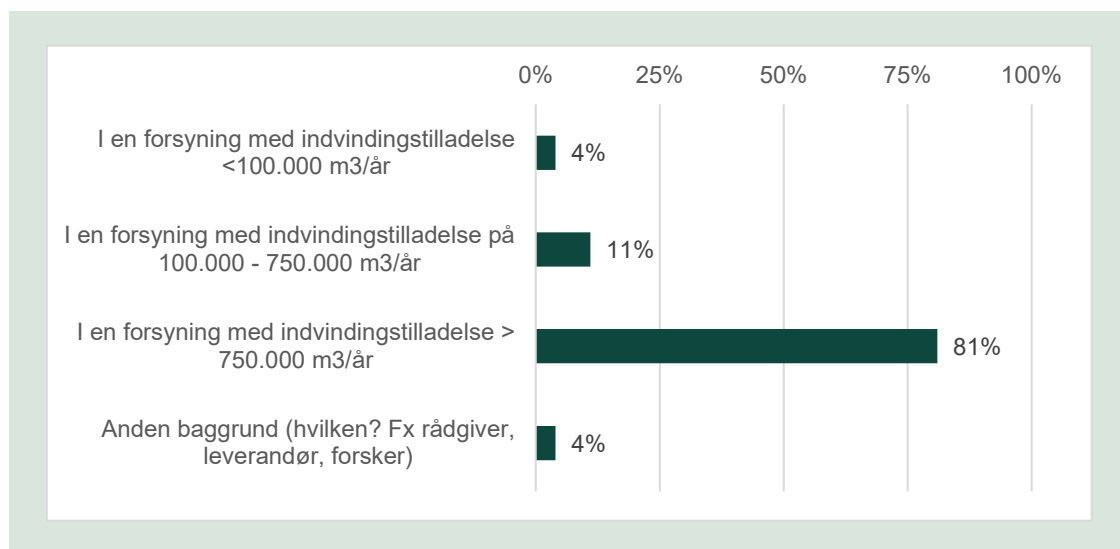
# Bilag 4. Kortlægning og sammenstillende analyse af vandforsyningers nuværende idriftsættelsesprocedurer for PE-rør i drikkevandssystemet

Dette dokument samler op på de iagttagelser, der blev gjort ved spørgeskemaanalyse af vandforsyningers idriftsættelsesprocedurer i 2022, den efterfølgende workshop om samme emne, samt den opfølgende spørgeskemaanalyse ved projektets afslutning 2024.

## Resultater af spørgeskemaundersøgelsen 2024 sammenlignet med 2022

### Deltagere

Der deltog 31 personer i undersøgelsen dækkende ingeniører, maskinmestre, driftsledere, teamledere, projektledere, installatører, rådgivere og specialister fra i alt mindst 17 forskellige store og små forsyninger samt 1 rådgiver. Fordelingen af respondenter efter ansættelsesforhold var som på FIGUR 1.



FIGUR 6. Ansættelsesforhold for respondenter. Total antal forsyninger 17.

Sammenlignet med spørgeskemaundersøgelsen i 2022, var en større andel af respondenterne fra større forsyninger.

### **Idriftsættelsesprocedure**

Der var 65% af de adspurgte forsyninger, der havde en skriftlig idriftsættelsesprocedure for PE-rør i drikkevandssystemet, mens 41% håndterede hver idriftsættelse enkeltvis. Der var således en større andel, der havde en skriftlig idriftsættelsesprocedure i undersøgelsen i 2024 sammenlignet med 2022, hvor 29% af de adspurgte havde en skriftlig idriftsættelsesprocedure og 71% håndterede hver idriftsættelse enkeltvis.

Det kunne derfor tyde på, at flere forsyninger har introduceret skriftlige idriftsættelsesprocedurer for PE-rør over de seneste 2 år eller at respondenterne for 2024 i højere grad kom fra store forsyninger.

### **Opbevaring af rør inden idriftsættelse**

For 78% af respondenterne blev rør leveret direkte til projektstedet og opbevaret dage til måneder inden idriftsættelse. 22% opbevarede rørene typisk i uger til måneder hos forsyningen (rør-lager) inden idriftsættelse. For enkelte kunne denne opbevaring være 1 år. Resultatet var ikke væsentligt ændret sammenlignet med 2022 (60% på stedet for idriftsættelse i få dage til uger og 34% hos forsyningen (rørlager) i uger til måneder). Forsyningerne rapporterer desuden som i 2022, at det varierer fra projekt til projekt, hvorvidt man får leveret rørene til egen opbevaring eller direkte til projektstedet.

Projektet har vist, at frigivelse af organiske stoffer fra PE-rør minimeres, når rør opbevares >28 dage. 41% af respondenterne kunne have interesse i at ændre nuværende opbevaringsprocedure på denne baggrund. Heraf, vil mere end halvdelen (64%) dog have følgende krav for at kunne ændre proceduren:

1. Det kunne være en rigtig god løsning, men af hensyn til plads, kan det ikke altid lade sig gøre.
2. Det vil kræve lidt mere baggrundsmateriale.
3. Hvis det logistisk kan lade sig gøre fx at have dem opbevaret på vores lager i de tilfælde, hvor de ellers ville have været leveret til kantsten.
4. Denne beslutning træffes i vandanalyseafdelingen.
5. Det kan vi ikke sige med et ja eller nej på nuværende tidspunkt. Vi vil foretage en intern drøftelse og tage en beslutning efterfølgende.
6. Det vil kræve en dybere undersøgelse af de eksisterende forhold omkring rørleverancer. Måske er rørene slet ikke så nyproduceret.
7. Jeg vil være opmærksom på det, men det kræver mere tid i projekterne. Tilladelsen til at have rør liggende skal være på plads, og typisk vil vi også gerne i gang med projekterne så snart tilladelsen er klar. Det vil kræve en anden tilgang end vi har nu at få det fast implementeret.

Tilsvarende har 59% ikke planer om at ændre idriftsættelsesproceduren. For 20% af disse er det ikke muligt pga. følgende forhold:

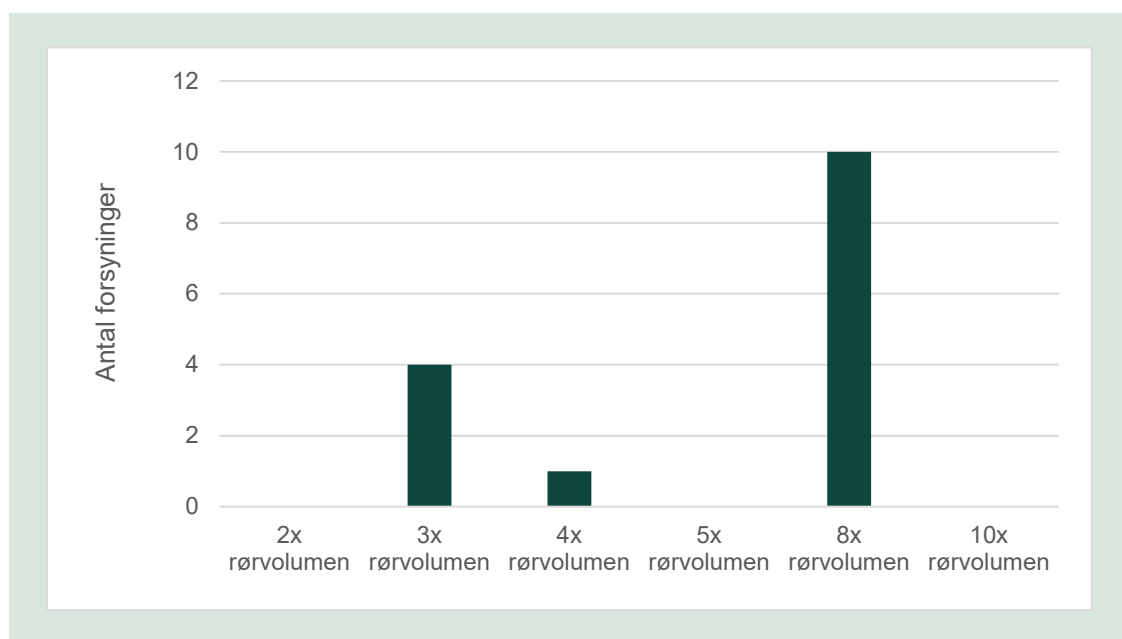
1. Der er stor variation i hvor hurtigt et projekt bliver til, og der vil typisk blive bestilt et træk rør ad gangen, for at udnytte kørslen (CO<sub>2</sub>) bedst muligt.
2. Det vil kræve et stort tørlager for vores vedkommende. Jeg vil snarere prøve at få producenterne og grossisterne til at være en del af dette.
3. Tror det bliver et måske. Jeg vurderer det vil fordyre arbejderne, og det er ikke sikkert, vi ønsker at stille kravet om opbevaring til vores leverandør som i forvejen leverer materialerne. Vi har ikke selv lager af vandledninger.

Det er interessant, at størstedelen af forsyningerne er tilbageholdende med at ændre i nuværende opbevaringsmetoder for PE-rør inden idriftsættelse på trods af den nye viden om frigivelse af organiske stoffer fra PE-rørene. En del af forklaringen på dette lader dog til at skyldes praktiske omstændigheder som fx tilladelse/mulighed for at have rør liggende på lager, tid fra et pro-

jekt bliver til, til det udføres eller nødvendigheden for ændret samarbejde med producenter/leverandører af rør. Hertil kommer, at nuværende idriftsættelsesprocedurer er tilstrækkelige for forsyningerne til at sætte et PE-rør i drift og distribuere god kvalitets drikkevand til forbrugerne med de nuværende krav. Der kommer dog større og større fokus på miljøfremmede stoffer, ligesom organisk stof vil kunne lede til forhøjede kimtal og dermed ønskes begrænset i distributionssystemet. Der skal muligvis være bedre dokumentation for gevinsten ved at begrænse frigivelse af stoffer fra PE-rør til vandbanen for at ændringer i opbevaringsprocedurer bliver interessante for alle. Man kunne også overveje om opbevaringsstedet skal være hos producenten eller hos forsyningen (på rørlager eller ved idriftsættelsessted).

### Skylleprocedure

Skylleproceduren varierede meget for de enkelte forsyninger. Der var 14 forsyninger, der rapporterede, at skylleproceduren var bestemt af rørvolumen, som det ses på FIGUR 2. Her anvendte de fleste mængder fra 3 til 8 x rørvolumen, ligesom det også var tilfældet ved undersøgelse i 2022.



**FIGUR 2.** Fordeling af antal rørvolumen for respondenter, hvor skylleproceduren var bestemt af volumen.

For andre forsyninger, skylles med et givent flow (fx 3m<sup>3</sup>/h eller 5 m<sup>3</sup>/h) i en given periode. Perioden er ofte fra 1-5 timer op til et døgn eller til der ligger en ren vandprøve. For disse beskrives skylleproceduren ved:

1. Der skylles med fuldt flow indtil vandprøven er taget, herefter skrues ned for flowet.
2. Vi skyller i et tidsrum og tager derefter en Bactiquant.
3. Vi skyller nogle dage, tager en vandprøve for *E. coli* og coliforme. For råvandsledninger og forsyningsledninger til hele byer får vi også målt for kim22.
4. Alle vandledninger skal skylles med mindst 3x ledningsvolumenet. Volumenet skal angives til forsyningen. For ledningsstræk større end 50m skal du kontakte forsyningen, som vurderer om arbejdernes omfang medfører at følgende procedure for skylning skal følges: Den nylagte ledning skylles med en blød svamp og derefter skylles ledningen 8x rørvolumenet med turbulent flow.
5. Der skylles med flush flow afhængigt af hvad der er muligt i på den givne rørstrækning. Der udtages prøver efter 24 timer - flow nedsættes - og der tages en 2. prøve efter yderligere 24 timer. Hvis begge prøver accepteres af fødevarer sikkerhedsstyrelsen, frigives røret.
6. Vi skyller til vores hurtigst viser at det er rent.

Uanset skylleprocedure tager forsyninger som i undersøgelsen i 2022 hensyn til rørdimension, når skylleproceduren fastlægges.

Enkelte (24% mod 22% i 2022) tager hensyn til opstrøms materiale og skyller fx opstrøms støbejernsrør. Særligt interessant rapporterer en enkelt forsyning ” Tidligere har der været særlig procedure for støbejern, men da PE også kan afgive lugt, har vi ensrettet proceduren”.

I forbindelse med skylleproceduren anvendte den overvejende del (82%) en svamp som en del af skylleproceduren mens 50% anvendte en udskylningskasse (fx indeholdende kuglehane, kontraventil, måler, prøvehane og snavssamler). Begge tal lå lidt højere end for undersøgelsen i 2022.

### Desinfektion

Der anvendes som i 2022 ingen desinfektion i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør for lidt under halvdelen af forsyningerne (46%) med undtagelse af særlige tilfælde. Derimod desinficerer 29% af dem, der anvender en svamp, denne.

### Analyser

Den overvejende del af forsyningerne (ca. 90%) tester for Kim22, coliforme og *E. coli* i forbindelse med idriftsættelse af transmissionsledninger, nogle suppleret med Kim37 (15%). For forsyningsledninger undlades kimtallene i flere tilfælde. Procenterne varierer fra undersøgelsen i 2022, men variationerne kan skyldes tvivl i forhold til om man svarer for netop transmissions- eller forsyningsledninger (kun få angiver dette præcist, selvom spørgeskemaanalysen har fokus på forsyningsledninger).

Derudover tester få med BactiQuant (19%) eller ATP (7%), særligt for forsyningsledninger, hvor der ikke testes for kimtal. Én forsyning rapporterer også om analyser for kemiske (jern, mangan, mm.) og fysiske (turbiditet, lugt og smag) parametre.

Som i 2022 er der forskel på hvor ofte og hvornår prøver udtages. Specifikke kommentarer omfatter:

1. Før udskylning (vandets normale vandkvalitet) og lige efter udskylning, dvs. når alm. drift er genoptaget.
2. Lige inden levering af vand til forbrugerne, før alm. drift genoptages.
3. Løbende under hele idriftsættelsesperioden.
4. Vi er afhængig af ekstern prøvetager, så det kræver noget planlægning og koordinering.
5. Der tages to ugentlige prøver løbende af interimsvandet/den midlertidige forsyning til forbruger.

Projektet har vist: i) Kim22 stiger ofte over 200 CFU/ml (kravet hos forbrugeren) inden for 10-20 dage efter idriftsættelse af nyt PE-rør men sjældent over 2000 CFU/ml (kogeanbefaling). ii) Forsyninger tager ofte prøver inden denne stigning i Kim22. iii) De øgede Kim22 viser bakterier med evne til at nedbryde phenoler snarere end forekomst af sygdomsfremkaldende. Således kan de høje Kim22 måske ligefrem betragtes som resultat af en gavnlig effekt af mikroorganismer på nedbrydning af organiske stoffer fra PE-rør. Godt halvdelen af forsyningerne (59%) vil på denne baggrund idriftsætte uden Kim22, så længe der prøvetages for coliforme og *E. coli*.

Specifikke kommentarer lyder:

1. Vi har længe og på mindre ledninger nøjes med *E. coli* og coliforme, mens der på større ledninger stadig har/er et ønske om at være sikker. Projektet har underbygget denne proces og vil måske også overflødig gøre kimtal på større ledninger. Dog afføder det også et spørgsmål om der så er andet vi skal måle for, så vi sørger for en sikker idriftsættelse.
2. Ja, vi er allerede i gang med disse overvejelser.
3. Efter præsentationen er det blevet aftalt at vurdere på muligheden for ikke at bruge Kimtal 22 som vurderingsparameter. Dette skal vurderes i FST (fødevarer sikkerhedsteamet) og det er blevet videregivet.

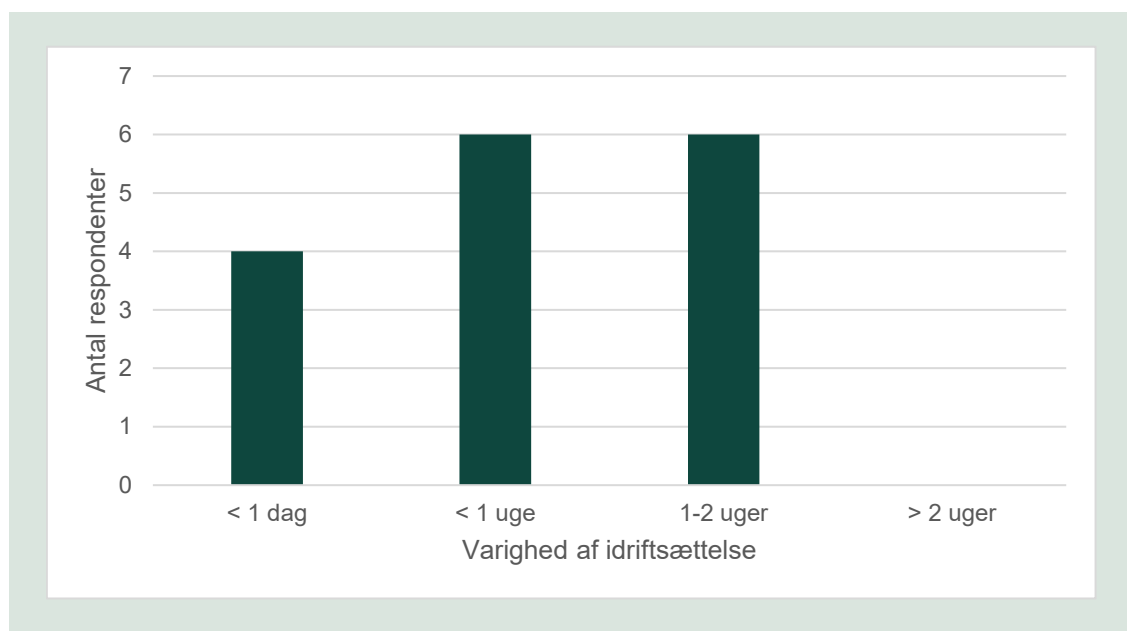
4. Vandforsyningsens egenkontrolprogram bør fungere som verificering af idriftsættelsen. Myndigheden kan varsles på forkant med info pba en modelkørsel på udbredelsen.
5. Ved interne prøver er det tilstrækkelig.
6. Jeg mener, der er belæg for ikke længere at analysere for Kimtal22. Vil dog fortsat analysere for *E. coli* og coliforme på større ledninger.

Kun 4 forsyninger (godt 20%) svarer klart, at de fortsat vil måle for Kim22. For 2 af disse skyldes det, at de gældende krav på <200 CFU/ml skal overholdes før en ledning må idriftsættes. De to andre forsyninger svarer tydeligt "Nej" til at droppe Kim22-analyse i forbindelse med idriftsættelse med begrundelse om stadig at se værdi af Kim22 udtaget umiddelbart efter endt renoveringsarbejde.

Det konkluderes, at den overvejende del af forsyningerne ønsker at droppe kimtalsanalyser i forbindelse med idriftsættelse af PE-rør i drikkevandssystemet (særligt for forsyningsledninger). Samtidig er der ønske om en forståelse af resultater fra andre målemetoder (fx hurtiganalyser), så egenkontrol kan sørge for en sikker idriftsættelse.

### Varighed af idriftsættelse

Varigheden af idriftsættelsen fra rørene er færdiglagt til almindelig drift genoptages med levering af vand til forbrugerne varierede som i 2022 fra timer til uger. For de forsyninger, der havde uddybet svaret med specifikke tider, fordelte svarene sig som i FIGUR 3.



**FIGUR 3.** Fordeling af antal rørvolumen for respondenter, hvor skylleproceduren var bestemt af volumen.

På FIGUR 3 kan det ses, at den typiske tid for idriftsættelse af nye PE-rør i drikkevandssystemet er få dage op til 2 uger, svarende til analysen i 2022.

For de forsyninger, der ikke havde angivet et specifikt tidsinterval for skylleperioden, var svarene om, hvornår driften genoptages med levering af vand til forbrugerne repræsenteret ved sætninger som:

1. Meget varierende, det spænder fra dage til år(!)
2. Dette varierer af flere forskellige faktorer. Hvor lang er strækning for det givende projekt. Hvilken type ledning.
3. Når en hurtigtest er ren.

4. Efter rene resultater fra vandprøver.

### **Transmissionsledninger**

For transmissionsledninger vil forsyningerne generelt bibeholde kimtalsanalyser.

Specifikke udvalgte kommentarer om særlige forhold ved transmissionsledninger lyder:

1. Der afventes prøvesvar på *E. coli*, coliforme og Kimtal22 før idriftsættelse.
2. Det svinger meget, her bruges UV sammen med BactiQuant og Colilert18.
3. Vi følger altid den samme procedure, hvis ikke særlige forhold taler for andet.
4. Øget skyllemængde udgør en udfordring med afledning af skyllevand. Dertil kommer tidsperspektivet.
5. Idriftsættelse på transmissionsnettet aftales med driftsteamet fra projekt til projekt.
5. Transmissionsledninger er defineret over Ø315. Her er krav om 2 godkendte vandprøver før idriftsættelse.
6. Her testes for kim 22 - udsylning kan tage op til 6 uger ved lange ledninger.
7. Her idriftsætter vi først, når der foreligger en ren analyse og her analyserer vi også for Kimtal22.
8. *E. coli*, coliforme og kim22 skal være ok inden idriftsættelse. Vi har brugt UV-anlæg på en Ø400 for at mindske vandspild og for at kunne bruge ledningens kapacitet.
9. Her kan ledningsstrækningen være meget længe om at få luften væk.
10. Forhold ift. idriftsættelse af transmissionsledning er samme procedure som ved forsyningsledninger

### **Idriftsættelse af ledning, der har stået med vand**

Særlige forhold der gør sig gældende ved idriftsættelse af en ledning, der har stået med vand i længere tid fx ved en udstykning beskrives af forsyningerne tilsvarende undersøgelsen i 2022. Generelt håndteres denne situation enten uden særlige forhold eller evt. ved længere skylletider.



## **Undersøgelse af biofilm som biologisk barriere ved idriftsættelse af nye PE-forsyningsledninger**

Rapporten beskriver resultaterne der er opnået ved MUDP projektet 2020-15502, hvor det undersøges, hvad der forårsager opblomstring af kim 22 ved udskiftning af PE-rør og hvordan forsyningerne håndterer problematikken ved forskellige forbehandlings- og/eller opbevaringsmetoder. Rapporten kommer også med forslag til forbedring af opbevaringsmetoder til PE-rør inden de tages i brug. Til sidst evaluerer rapporten forskellige mikrobiologiske analyser og beskriver overordnet forskellige skylleprocedurer i forbindelse med udskiftning af PE-rør i vandforsyningssystemer. Rapporten beskriver et meget aktuelt emne, da EU's drikkevanddirektiv 2020 og dens implementering i dansk lovgivning sætter fokus på den indflydelse materiale i kontakt med drikkevand har.



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)