



Risikovurdering af spildevandsledning ved Havdrup kildeplads ved brug af Feflow

Birgitte von Christiernsen, COWI
Christian Helweg, COWI
Katerina Richter Hantzi, HOFOR

Baggrund

- HOFOR er i gang med renovering af Havdrup kildeplads i Solrød Kommune, hvor eksisterende boringer sløjfes og nye boringer installeres.
- Gamle og nye indvindingsboringer på kildepladsen ligger tæt på en spildevandsledning, tættere end den vejledende afstand på 50 m (Dansk Ingeniørforenings norm DS422 for almene vandforsyningsanlæg tæt på en spildevandsledning).
- Spildevandsledningen er en ældre gravitationsledning i beton fra 1960 (64 år) ejet af KLAR forsyning (mindre dele tidligere strømpeforet).
- Kildepladsen ved Havdrup har en kompliceret geologi med flere spredningsveje: opsprækket moræneler, ledningstraceer og dårligt sløjfede boringer.

Formål

1. Risikovurdering af spildevandsledning i forbindelse med reovering af Havdrup kildeplads:
 - Hvad er sandsynligheden for, at der sker et spild fra kloakledningen som kan føre til forurening af eksisterende og nye drikkevandsboringer og hvad bliver konsekvensen? Hvor stor forurening kan der ske og hvor hurtigt?
 - Konkret vurdering af minimumsafstand fra indvindingsboringerne til spildevandsledningen (jf. Dansk Ingeniørforenings norm DS422)
 - Forslag til mitigerende tiltag
2. Udvikling af generel metode/vejledning for risikovurdering af spildevandsledninger tæt på HOFØRs kildepladser. HOFØR har en del andre kildepladser med tilsvarende problemstilling.

Havdrup kildeplads

Spildevandsledning

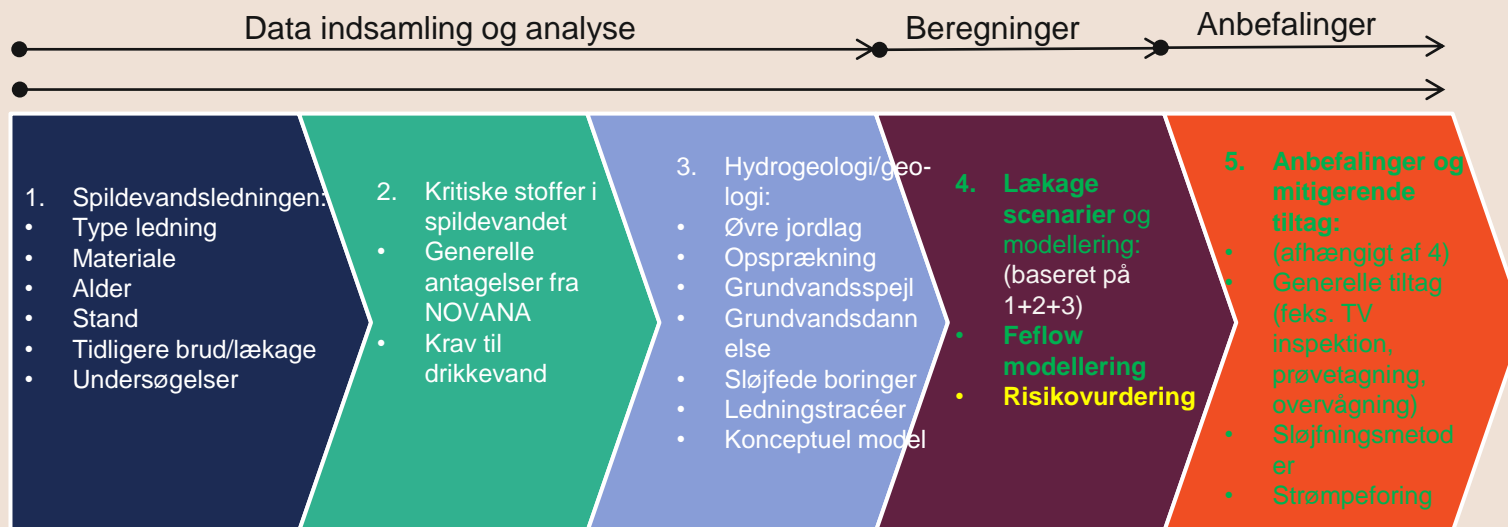
- Spildevandsledning langs med del af kildepladsen (KLAR forsyning)
- 15 aktive hævertboringer
- Afstand fra boringer til spildevandsledningen: 15-22 m
- Sløjfning af eksisterende boringer
- Etablering af 8-10 nye boringer (ca. 10 m dybere end eksisterende)



Risikoanalyse - Metode

Klassisk risikovurderingsproces:

- Udvikling af konceptuel forståelsesmodel (Source-Pathway-Receptor model)
- Traditionel semikvantitativ/kvantitativ risikovurdering (dansk standard for sikkerhed i drikkevandsforsyning)



Risikovurdering - Metode

- Risikoen er vurderet ved at sammenholde sandsynlighed for lækage og konsekvens: risiko = sandsynlighed x konsekvens.
- Det er valgt at bruge en semikvantitativ metode, hvor vi så vidt muligt har sat tal på både sandsynlighed og konsekvens.
- Analysen er lavet baseret på en risikomatrix, som typisk anvendes til risikovurderinger (WHO eller EU standard for vandsikkerhedsplaner) (HOFORs egen risikomatrix).

Risikomatrix for Havdrup

- Ved akut brud indgår transporttiden i evaluering af konsekvensen, da antagelsen er, at bruddets beliggenhed opdages efter 10 dage
- For den sivende lækage opdages problemet først, når forureningen når en boring (tid er derfor ikke en faktor)

Kategori	Score
Ingen	0
Lav	1-3
Medium	4-6
Høj	8-12

		Konsekvens			
		Ingen effekt (0) - Stof når ikke boring	Lille (1) - Transporttid > 60 dage (vandforsyning kan nå at planlægge)	Medium (2) - Transporttid 10-60 dage (vandforsyning kan reagere)	Høj (3) - Transporttid <10 dage (Vandindvindingsboringer må lukkes akut)
	Akut brud	Ingen effekt (0) - Stof når ikke boring			Høj (3) - Stof når hen til boringen
	Sivende lækage				
Sandsynlighed	Høj (4)	Ingen (0)	Medium (4)	Høj (8)	Høj (12)
	Medium (3)	Ingen (0)	Lav (3)	Medium (6)	Høj (9)
	Lille (2)	Ingen (0)	Lav (2)	Medium (4)	Medium (6)
	Meget usandsynligt (1)	Ingen (0)	Lav (1)	Lav (2)	Lav (3)

Konsekvens

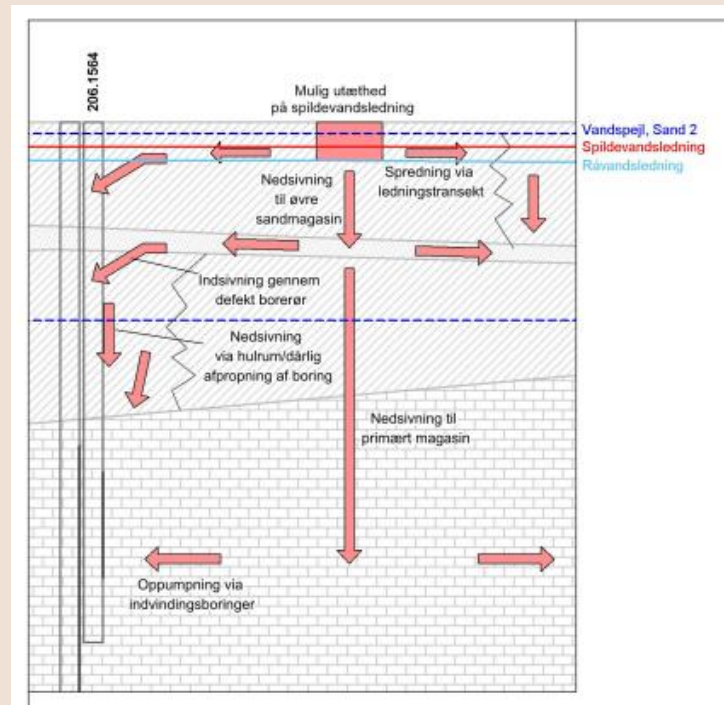
Konsekvens er vurderet med den numeriske grundvandsmodel Feflow:

- Mulighed for at simulere flere forskellige spredningsveje f.eks. sprækker og utætte borer
- Mulighed for transiente kørsler
- Mulighed for stoftransport (transporttider for forskellige stoffer)
- God visualisering i 3D
- Mulighed for automatisering af opsætning, kørsel og dataudtræk

Feflow modelscenarier

Mange kombinationer af geologi og geometri af boringer og ledninger:

- 30 forskellige kombinationer af lækage (akut og sivende brud) og geologiske forhold både med og uden sprækker
- 3 forskellige kritiske stoffer:
 - Bakterier: E. coli (nedbrydes)
 - PFAS (sorberer, men lille nedbrydning)
 - Konservativt stof



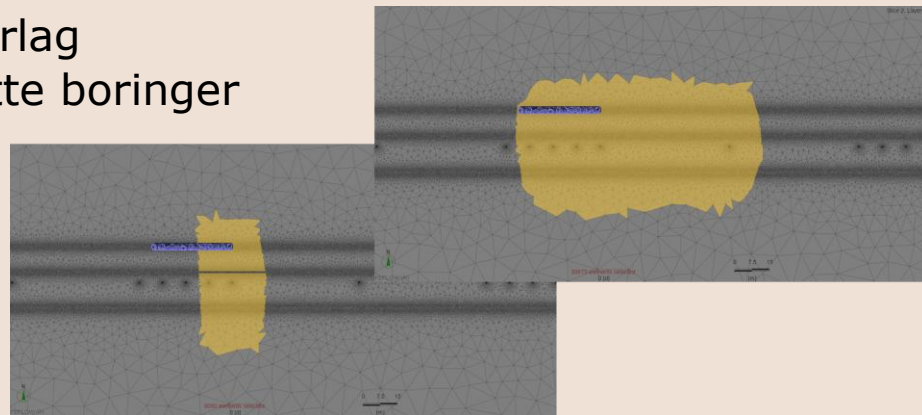
Feflow modelscenarier

Primære spredningsveje:

1. Spredning ved nedsivning gennem lerlag
2. Spredning ved nedsivning langs utætte boreriger
3. Kombination af 1 og 2

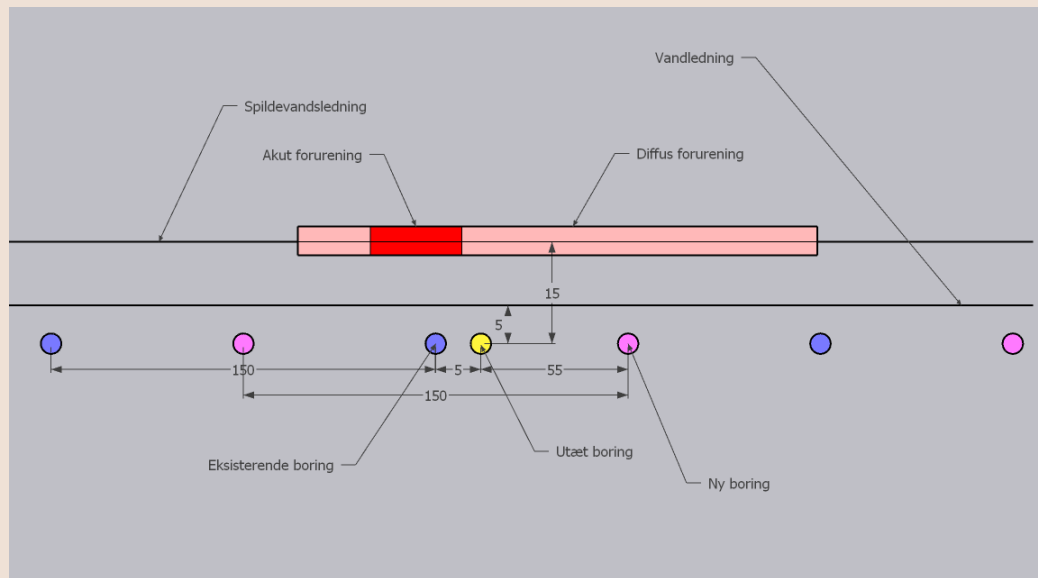
Geologiske forhold:

1. Meget gunstig (tykt impermeabelt lerlag)
2. Gunstig (tykt lerlag)
3. Gunstig (med sprækker)
4. Mest sandsynlig (mellem lerlag, lille sandlinse)
5. Mest sandsynlig (med sprækker)
6. Ugunstig (tyndt lerlag med sandlinse ved spild)
7. Ugunstig (med sprækker)



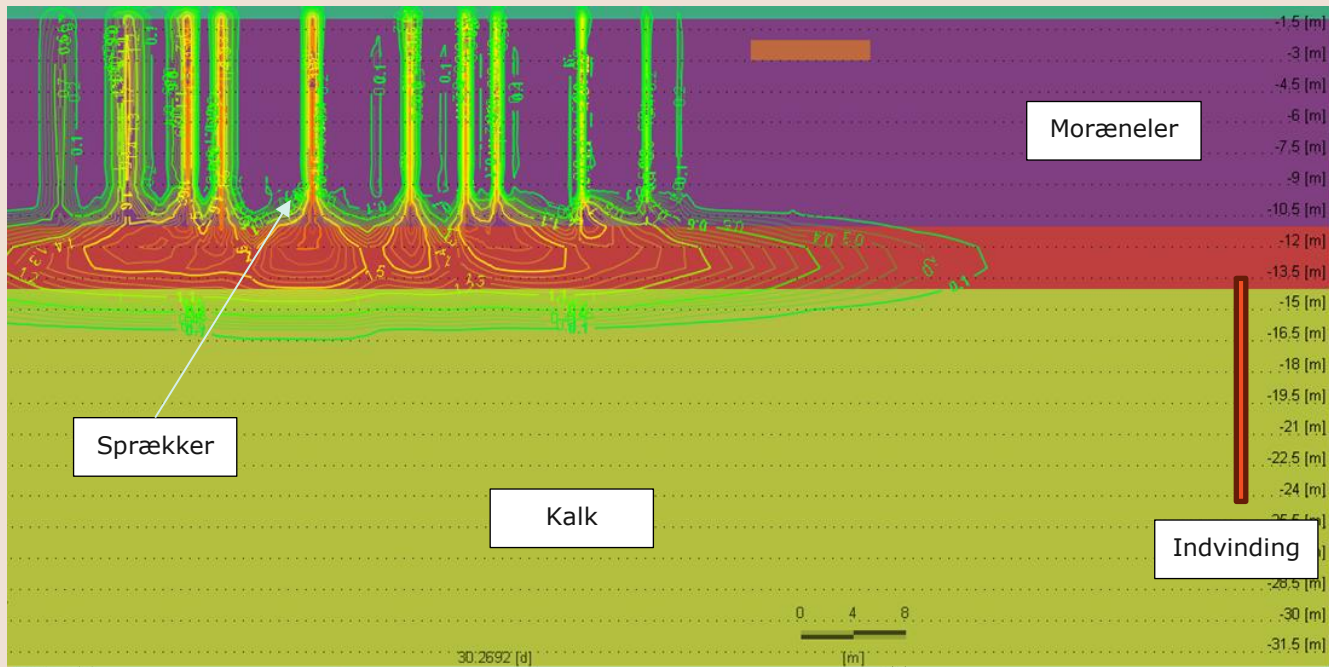
Model opsætning

- Simple model (forsimplet og ikke en direkte repræsentation af Havdrup!). Tre boringer.
- Transient med stoftransport
- Vertikal opløsning 1 m
- Akut spild
 - Fastholdt tryk lidt over terræn (10 timer)
- Diffust spild
 - Fast rate på $2.25 \text{ m}^3/\text{t}$ svarer til 5% af gennemsnitlig flow i kloakrøret



Sprækker

- Kun i mindre område som dækker spild og fokusboringer
- Indbyrdes afstand 5 m
- Apertur 196 μm
- K_{matrix} er lav i sprækkeområdet
- Hagen-poseuille



Sandsynlighed for akut brud

- Akut brud som følge af skader fra landbrugsmaskiner
- Brud kan forekomme hvor som helst på ledningen
- Afhænger af dybde under terræn, fundering og arealanvendelse
- Dybde er 1-3 m ved Havdrup – mindst i vestlige del (1 m i dansk standard (DS437))
- Under landbrugsarealer i vestlige halvdel langs kildepladsen
- **Sandsynlighed: medium (1 gang på 25 år/km)**

Kategori	Brudfrekvens
Høj (4)	1 gang hvert 5 år/km
Medium (3)	1 gang hvert 25 år/km
Lille (2)	1 gang hvert 100 år/km
Meget usandsynligt (1)	1 gang hvert 500 år/km

Sandsynlighed for sivende lækage

- Lækage som følge af generel slitage: alder og materialetype
- Trærødder
- Ledningen blev inspiceret og delvist strømpeforet i 2002
- Godt flow i ledning mindsker risiko for lækage
- (Fysisk indeks (TV-inspektion))
- Alder stor faktor
- **Sandsynlighed: medium (til høj)**

Kategori	Alder	Materiale	Fysisk indeks (0-10)	Sandsynlighed for lækage (%) (de næste 10 år)
Høj (4)	> 70 år	Beton	8-10	>50%
Medium (3)	30-70 år	Beton (delvist strømpeforet)	4-7	20%
Lille (2)	5-30 år	Plast/ny beton/strømpeføring	1-3	5%
Meget usandsynligt (1)	0-5 år	Plast	0	<1%

Konsekvens af spild – E. coli

Feflow

Nr	Primær spredningsvej	Geologisk variant	Utæt boring	Boringsplacering	Spild placering	Forureningstype	Scenarie sandsynlighed	Sandsynlighed for spild	S-score	Maks. koncentration E. coli/100 ml	Tid til Maks. koncentration (dage)	Maks. koncentration (> 1 E.Coli) (dage)	Transport tid (> 1 E.Coli) (dage)	Varighed (2 E.Coli) (dage)	Konsekvens	K-score	R-score	Risiko
Nuværende boringer																		
1	erlag og utæt boring	Meget gunstig	Ja	Nuværende	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Meget lille	1 gang på 25 år	3	0.00E+00	-	-	-	-	Ingen	0	0	Ingen
2	erlag og utæt boring	Igunstig	Ja	Nuværende	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	1.05E+07	10,0	0,3	50	Stor	3	3	9	Høj
3	erlag og utæt boring	Meget gunstig	Ja	Nuværende	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Meget lille	Medium	3	1.28E+04	345,0	10,4	-	Stor	3	3	9	Høj
4	erlag og utæt boring	Igunstig	Ja	Nuværende	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	4.87E+05	71,0	3,7	-	Stor	3	3	9	Høj
Fremtidige boringer																		
5	erlag	Mest sandsynlig	Nej	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Høj	1 gang på 25 år	3	3.58E+04	30,8	6,1	11	Stor	3	3	9	Høj
6	erlag	Gunstig	Nej	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Medium	1 gang på 25 år	3	0.00E+00	-	-	-	Ingen	0	0	0	Ingen
7	erlag	Igunstig	Nej	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	4.79E+05	15,7	2,4	10	Stor	3	3	9	Høj
8	erlag	Mest sandsynlig, sprækker	Nej	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Høj	1 gang på 25 år	3	1.93E+05	19,4	2,8	10	Stor	3	3	9	Høj
9	erlag	Gunstig, sprækker	Nej	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	5.11E+04	30,7	4,1	14	Stor	3	3	9	Høj
10	erlag	Igunstig, sprækker	Nej	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	7.02E+05	10,0	2,4	12	Stor	3	3	9	Høj
11	erlag og utæt boring	Meget gunstig	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Meget lille	1 gang på 25 år	3	0.00E+00	-	-	-	Ingen	0	0	0	Ingen
12	erlag og utæt boring	Mest sandsynlig	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Høj	1 gang på 25 år	3	3.58E+04	30,8	6,1	11	Stor	3	3	9	Høj
13	erlag og utæt boring	Gunstig	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Medium	1 gang på 25 år	3	0.00E+00	-	-	-	Ingen	0	0	0	Ingen
14	erlag og utæt boring	Igunstig	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	4.79E+05	15,7	2,4	10	Stor	3	3	9	Høj
15	erlag og utæt boring	Mest sandsynlig, sprækker	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Høj	1 gang på 25 år	3	1.93E+05	19,4	2,8	10	Stor	3	3	9	Høj
16	erlag og utæt boring	Gunstig, sprækker	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	5.11E+04	30,7	4,1	14	Stor	3	3	9	Høj
17	erlag og utæt boring	Igunstig, sprækker	Ja	Nye boringer	Tæt på utæt boring	Akut, 10 dage	Lille	1 gang på 25 år	3	7.02E+05	10,0	2,4	12	Stor	3	3	9	Høj
18	erlag	Mest sandsynlig	Nej	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Høj	Medium	3	1.49E+05	124,9	9,1	-	Stor	3	3	9	Høj
19	erlag	Gunstig	Nej	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Medium	Medium	3	1.02E+03	>365	32,2	-	Stor	3	3	9	Høj
20	erlag	Igunstig	Nej	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	4.53E+05	87,8	3,7	-	Stor	3	3	9	Høj
21	erlag	Mest sandsynlig, sprækker	Nej	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Høj	Medium	3	6.66E+05	54,7	0,5	-	Stor	3	3	9	Høj
22	erlag	Gunstig, sprækker	Nej	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	5.81E+05	64,1	0,9	-	Stor	3	3	9	Høj
23	erlag	Igunstig, sprækker	Nej	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	5.72E+05	75,5	2,2	-	Stor	3	3	9	Høj
24	erlag og utæt boring	Meget gunstig	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Meget lille	Medium	3	2.08E+03	>365	27,1	-	Stor	3	3	9	Høj
25	erlag og utæt boring	Mest sandsynlig	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Høj	Medium	3	1.49E+05	124,5	9,1	-	Stor	3	3	9	Høj
26	erlag og utæt boring	Gunstig	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Medium	Medium	3	1.01E+03	345,0	32,2	-	Stor	3	3	9	Høj
27	erlag og utæt boring	Igunstig	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	4.53E+05	87,8	3,7	-	Stor	3	3	9	Høj
28	erlag og utæt boring	Mest sandsynlig, sprækker	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Høj	Medium	3	6.66E+05	54,5	0,5	-	Stor	3	3	9	Høj
29	erlag og utæt boring	Gunstig, sprækker	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	5.81E+05	63,9	0,9	-	Stor	3	3	9	Høj
30	erlag og utæt boring	Igunstig, sprækker	Ja	Nye boringer	-	Sivende, langs ledning, 1 år	Lille	Medium	3	5.72E+05	75,7	2,2	-	Stor	3	3	9	Høj

Risiko – E. coli

- 26 scenarier (akutte (transporttid under 10 dage) og sivende) indikerer høj risiko
- 4 akutte scenarier for meget gunstig og gunstig geologi viser ingen effekt
- Sprækker accelererer forureningen noget
- Sløjfede boringer ingen øget risiko for nye boringsplaceringer (>50 m fra gamle boringer)

Kategori	Score
Ingen	0
Lav	1-3
Medium	4-6
Høj	8-12

		Konsekvens			
		Ingen effekt (0) - Stof når ikke boring	Lille (1) - Transporttid > 60 dage (vandforsyning kan nå at planlægge)	Medium (2) - Transporttid 10-60 dage (vandforsyning kan reagere)	Høj (3) - Transporttid <10 dage (Vandindvindingsboringer må lukkes akut)
	Akut brud	Ingen effekt (0) - Stof når ikke boring	Lille (1) - Transporttid > 60 dage (vandforsyning kan nå at planlægge)	Medium (2) - Transporttid 10-60 dage (vandforsyning kan reagere)	Høj (3) - Transporttid <10 dage (Vandindvindingsboringer må lukkes akut)
	Sivende lækage	Ingen effekt (0) - Stof når ikke boring			Høj (3) - Stof når hen til boringen
Sandsynlighed	Høj (4)				
	Medium (3)	4 scenarier (meget gunstig, gunstig)			26 scenarier (resterende geologier)
	Lille (2)				
	Meget usandsynligt (1)				

Risikovurdering

- Risikoen for forurening af en drikkevandsboring på kildepladsen fra spildevandsledningen er vurderet høj.
- Kun for de gunstige og meget gunstige geologiske forhold (tykt lavpermeabelt lerlag på 10 m) og det akutte brud, at forureningen ikke når hen til en drikkevandsboring (E. coli og konservativt stof).
- Flere PFAS4 scenarier, hvor forureningen ikke når frem til indvindingsboringen ved akut brud (sorption+lave koncentrationer).
- De sløjfede boringer udgør ikke en *øget* risiko for forurening med E. coli af de fremtidige indvindingsboringer (afstand fra gamle til nye boringer > 50 m).

Mitigerende tiltag

To forskellige typer mitigerende tiltag:

➤ **Reduktion af sandsynlighed for lækage:**

- Renovering af ledningen (f.eks. strømpeforing, udskiftning med P-rør)
- Regelmæssige vegetationstjek langs ledningen
- Aftaler med lodsejere om begrænset anvendelse af landbrugsmaskiner i området med spildevandsledningen (under udarbejdelse – NST kommer til at drifte jorden omkring kildepladsen)

➤ **Reduktion af konsekvensen af lækage:**

- Løbende overvågning af spildevandsledningen – etablering af overvågningsprogram (TV-inspektion)
- Propning af gruskasser i ledningsgrave med bentonit

Risikovurdering efter mitigerende tiltag

- Risikoen for forurening af kildepladsen reduceres fra høj til lav efter tiltag.
- Med en strømpeforing øges ledningens forventede levetid ca. 100 år, men stadig en mindre risiko for udefra kommende skader på ledningen, og ledningen vil degradere med tiden.
- Det anbefales derfor at revurdere risikoen med jævne mellemrum f.eks. hvert 5-10 år. Revurderingen af risikoen kan understøttes af f.eks. TV-inspektion.

Minimumsafstand til spildevandsledning

Feflow modelscenarier:

- Geologisk modelvariant med fem forskellige afstande: 25 m, 50 m, 100 m, 200 m og 300 m
- Mest sandsynlige geologi med sprækker og akut brud med eksisterende beliggenhed (25% af spildevandsvolumen)
- Modelscenarierne er kørt for E. coli.
- Beregnet minimumsafstand: **300 m** (identisk med det vejledende afstandskrav for utætte ledninger i Dansk Ingeniør-forenings norm DS422 for almene vandforsyningsanlæg fra 1988, revideret i 2014).

Konklusioner

- Metoden for risikovurderingen ved Havdrup følger en systematisk proces: udvikling af en konceptuel forståelsesmodel kombineret med en semikvantitativ/kvantitativ risikovurdering.
- Feflow er et effektivt værktøj til beregning af transport af mange forskellige lækage og geologiske scenarier, inklusive fysisk repræsentation af sprækker.
- Fordelen ved at bruge Feflow er, at transporttider kan beregnes. Dette er en fordel i forhold til andre simple værktøjer såsom JAGG eller GrundRisk.
- Generel vejledning til udførelse af risikovurderinger for kildepladser med spildevandsledninger. Metoden er anvendt på en anden af HOFORs kildepladser (risikovurdering af spildevandsledninger og renseanlæg)

Tak for opmærksomheden!