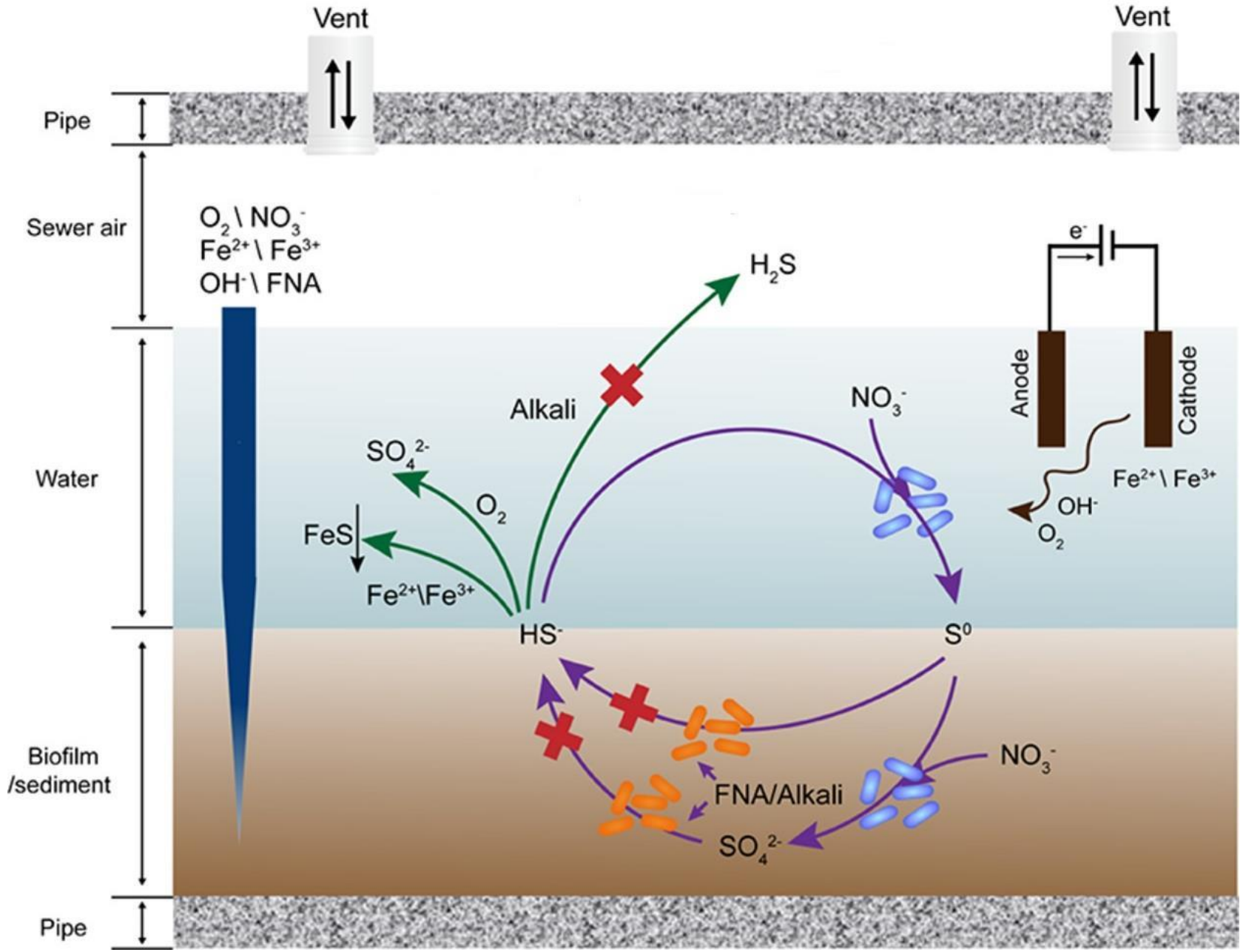
Hvilken vej viser forskningen?

Nye lovende teknologier til kontrol/håndtering af svovlbrinte i afløbssystemer



Forskning i H_2S i afløbssystemer

Ifølge Microsoft AI:

Et kig i bakspejlet…

- Hvor kommer vi fra og hvor er udviklingen på vej hen?

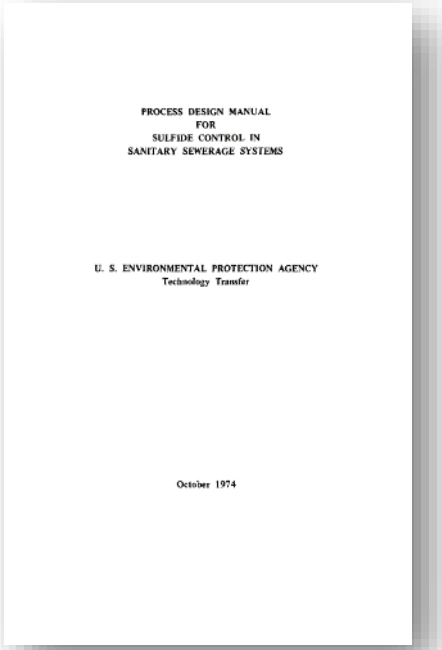
1895 - Svovlbrinteproblemer erkendes

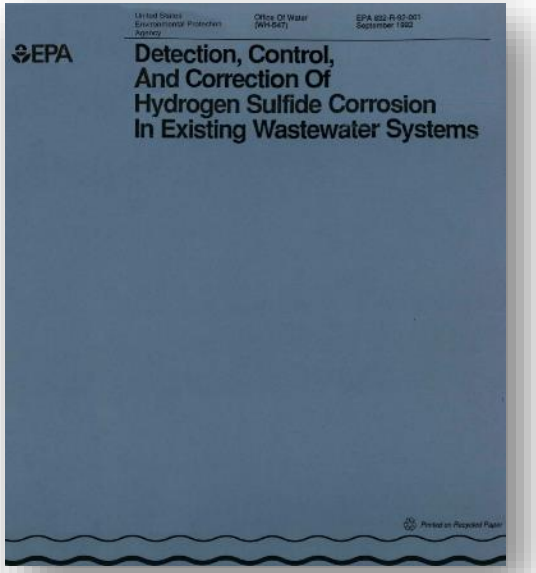
- I 1900 beskrev Olmsted og Hamlin[1] hvordan kalbaseret mørtel var svulmet op til dobbelt tykkelse og havde mistet sin styrke omkring et spildevandsudløb i Los Angeles.
- Forfatterne konkluderede efter grundige undersøgelser at "...the corrosive or destructive agent is sulphuric acid"

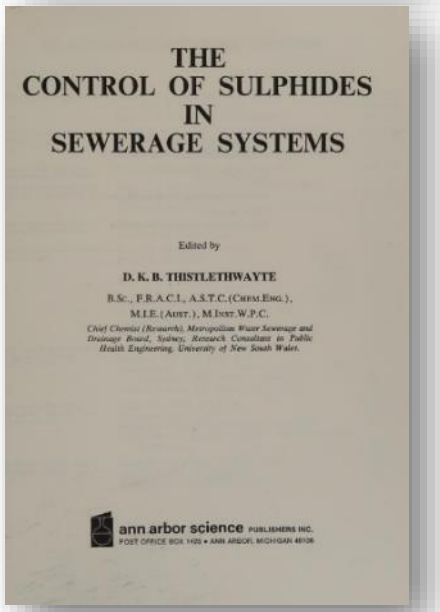
1. Olmsted, F.H. and H. Hamlin (1900), Converting portions of the Los Angeles outfall sewer into a septic tank, Engineering News, 44(19), 317-318.

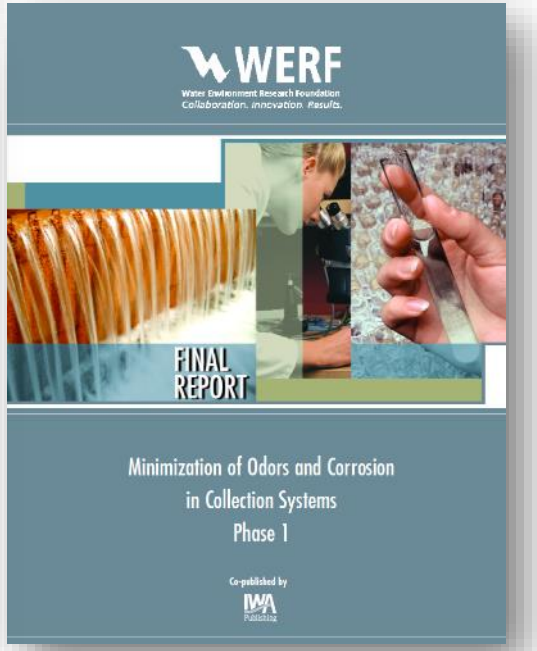
19XX

- Igennem det 20. århundrede blev der forsket i svovlbrinte problemer i en række lande og flere design manualer o.l. blev udgivet
- Primært i lande som USA, Sydafrika og Australien



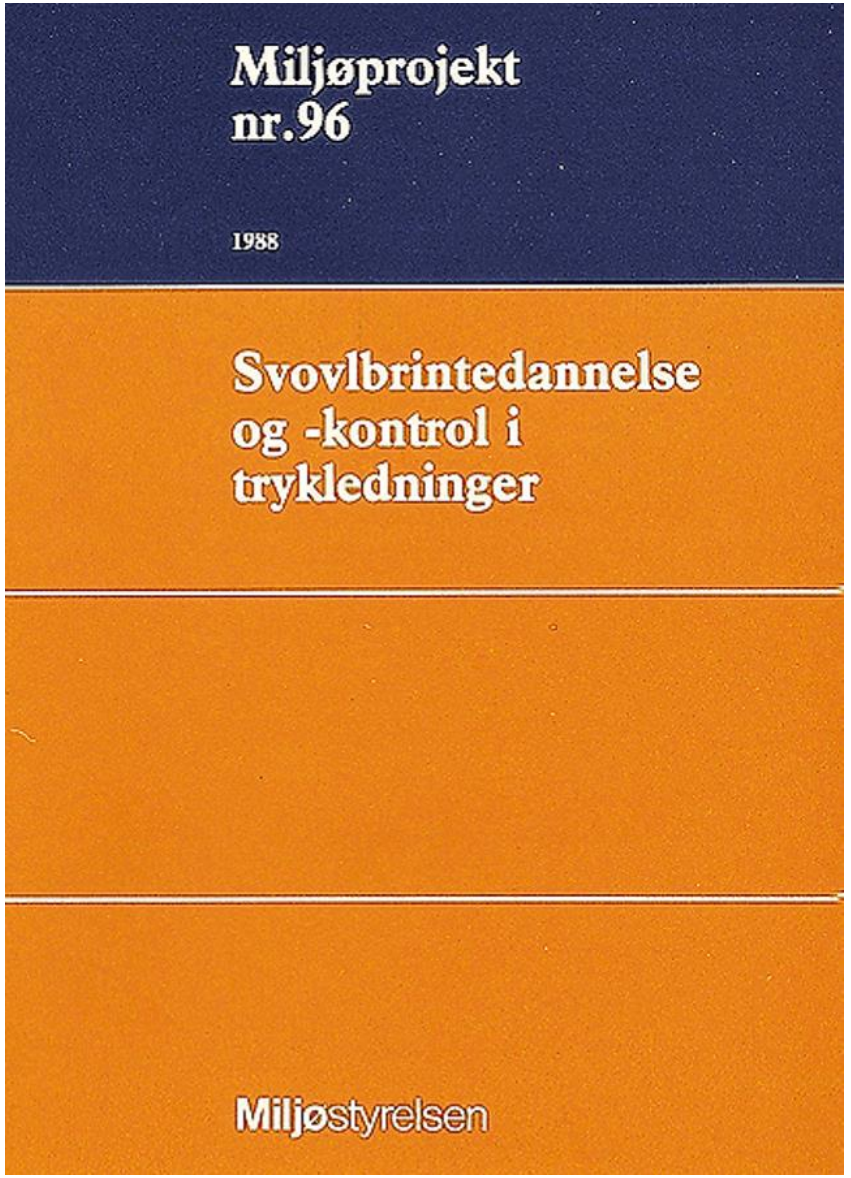






Udviklingen herhjemme

- I 1988 udgav Miljøstyrelsen projektrapporten ”Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger”, som dels beskrev baggrunden for problemerne og som også gennemgik en række metoder til bekæmpelse af svovlbrinte.
- I de efterfølgende år foregik der et stort forsknings- og udviklingsarbejde – særligt på AAU



2010 →

- I de senere år har flere forskningsgrupper arbejdet intensivt med problemstillinger relateret til svovlbrinte – særligt:
  - Australien, University of Queensland
  - Australien, UNSW Sydney
  - Tyskland, TU Berlin
  - Belgien, Universiteit Ghent
  - …

Sewer Corrosion and Odour Research (SCORe) Project

The SCORe project was a five-year (12/2008 – 11/2013), $21M research project jointly funded by the Australian government ($4.7M) and many major water utilities in Australia. This was likely the largest ever research project worldwide focusing on sewer corrosion and odour.

Et kig i krystalkuglen

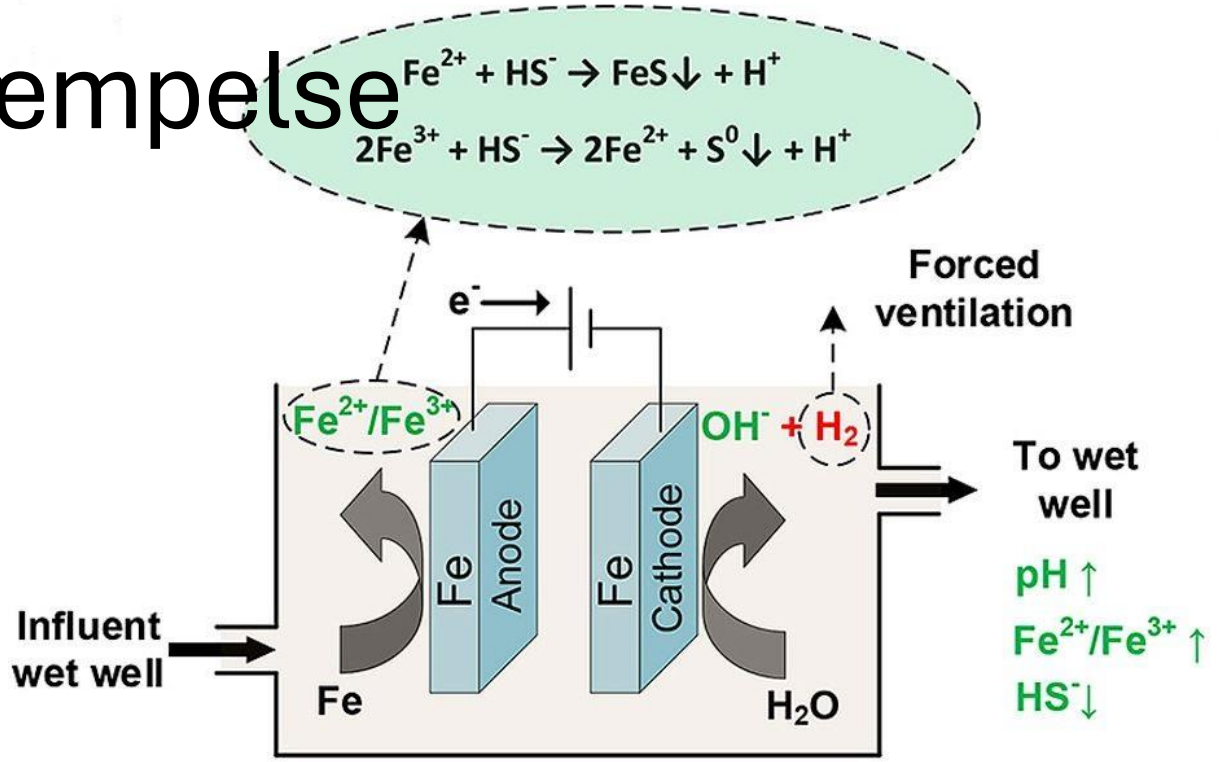
Hvilke lovende teknologier bliver der forsket i?

Udvalgte nye metoder

- Elektrokemiske metoder
  - Dannelse af fældningskemikalier
  - Magnetite nano-partikler
  - In situ dannelse af O_2
- Kemidosering
  - Free Nitrous Acid (Saltpetersyrlig)
  - Free Ammonia
  - Jernholdigt vandværksslam
- Biologisk og kemisk H_2S rensning (end-of-pipe)

Elektrokemisk H_2S bekæmpelse

- Elektrokemisk oxidation (iltning) af jernelektroder frigiver Fe^{2+} som udfælder svovlbrinte



- Fordele:
  - Ingen sure opløsninger
  - Højere effektivitet end kemi-dosering

- Ulemper
  - Tunge elektroder som skal skiftes
  - Temperatur-afhængig process
  - Sidereaktioner kan danne uønskede gasser (H_2, Cl_2,...)

Forsøgsopstilling fra Frejlev ifbm CLEAN projekt

Visuelle observationer

- Udfældet jern adsorberes til overflader i opstillingen
- Jern oxideres til Fe^{3+} og udfælder som jernoxid/hydroxid (rust/okker)
  - Dette kan enten ske på elektroden eller via reaktion med ilt (O_2) fra atmosfæren.
  - Hovedparten af jernoxidationen elektroderne resulterer i Fe^{2+} dannelse (effektivitet var cirka 90%)

Fuldskala forsøg

- Konfiguration af kulstofstålpladerne i den elektrokemiske celle; 2x50 kulstofstålplader.
- Elektrokemisk celle under drift, dvs. dækket af et PVC-låg for at ventilere den producerede brintgas (H_2) ud i atmosfæren.

Contents lists available at ScienceDirect

Water Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres

Full-scale investigation of in-situ iron and alkalinity generation for efficient sulfide control

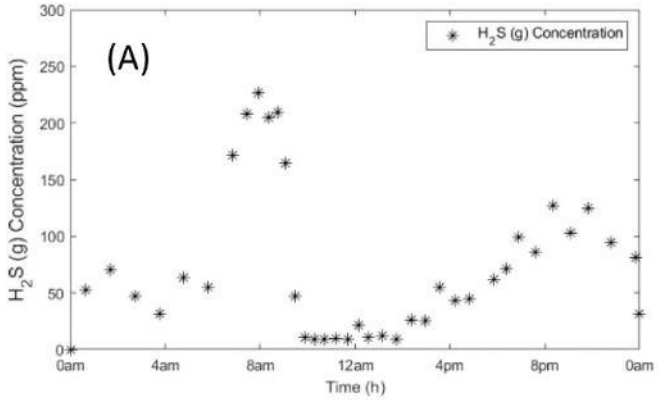
Ilje Pikaar [a, b, *], Markus Flugen [a], Hui-Wen Lin [c], Sirajus Salehin [a, b], Jiuling Li [b], Bogdan C. Donose [d], Paul G. Dennis [e], Lisa Bethke [b], Ian Johnson [f], Korneel Rabaey [b, g], Zhiguo Yuan [b]

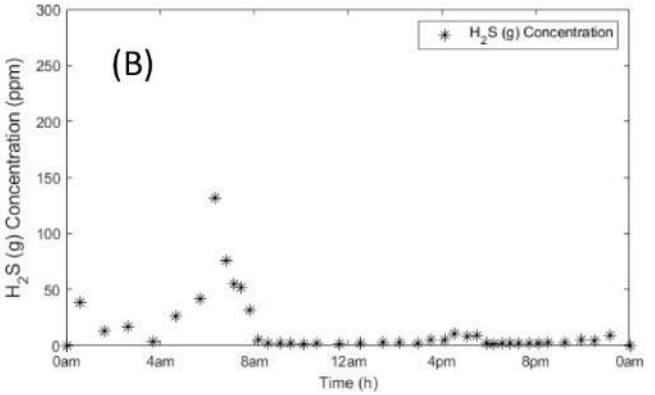
https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115032

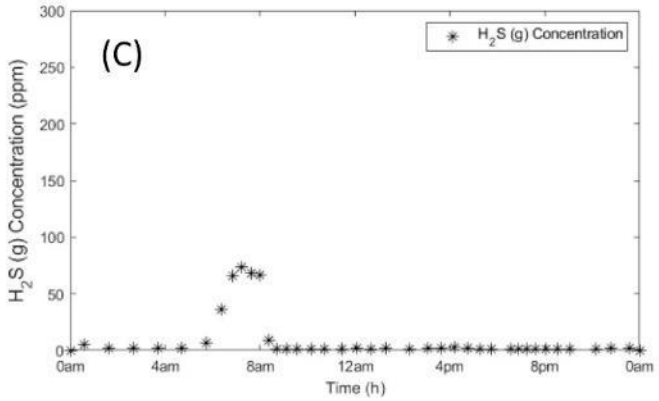
Elektrokemisk H_2S bekæmpelse

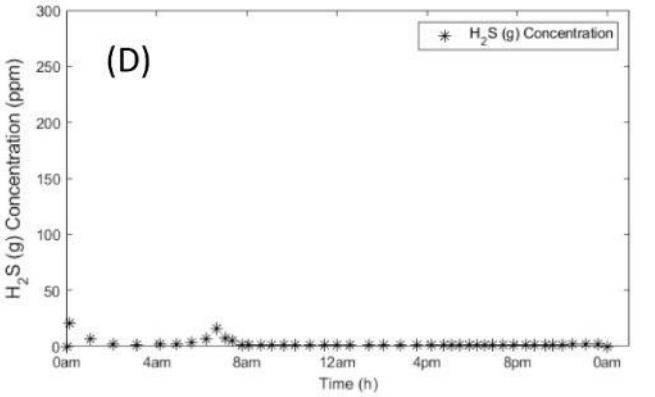
- Resultater fra fuldskala test i Holland

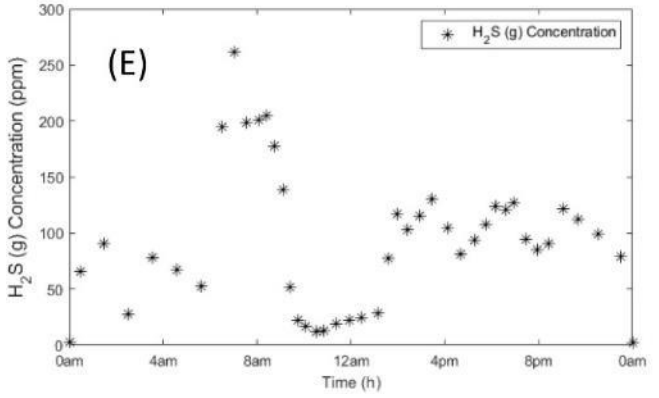
- A: Baseline
- B – D: Forsøgsperiode med hhv 80, 120 og 160 A strømstyrke under pumpning
- E: Efter forsøgsperiode

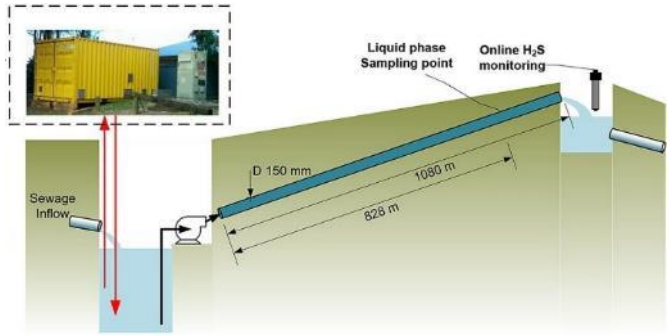






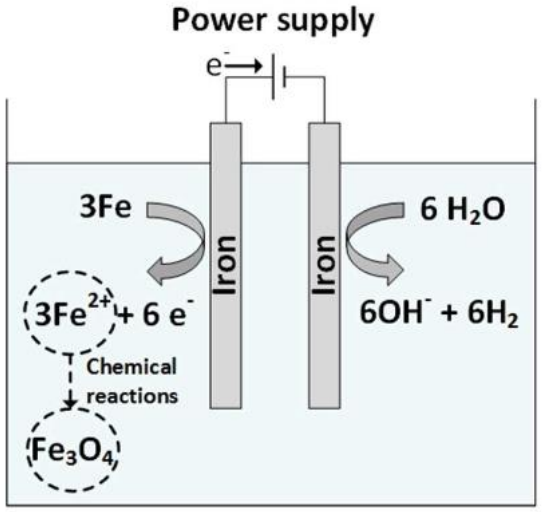


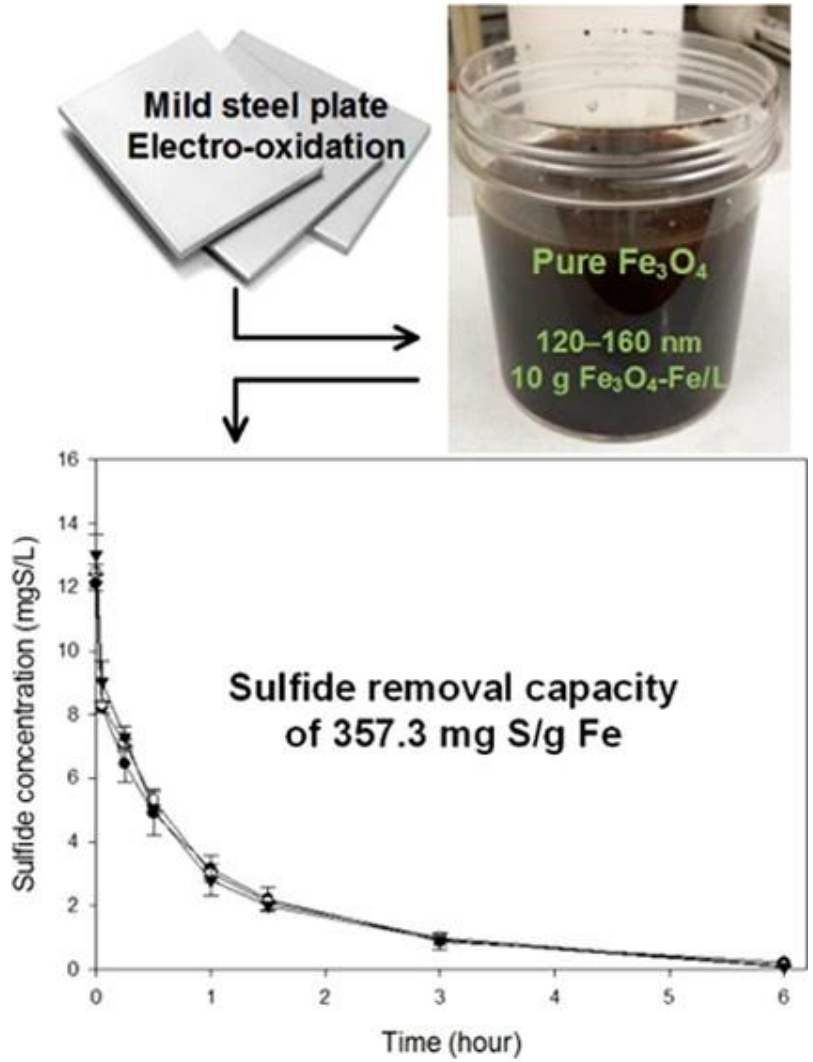




Elektrokemisk dannelse af magnetite NP

- Magnetite nano-partikler (120-160 nm) dannes ved oxidation af jernelektroder i elektrolytvæske
- H_2S fjernelse ved adsorption (hurtig) og efterfølgende oxidation (langsom)





DOI: 10.1021/acs.est.7b01748

Nye metoder baseret på elektrokemi

- *In-situ* O_2 dannelse i trykledninger

Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Engineering Journal

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cej

In-situ oxygen generation using Titanium foam/IrO_2 electrode for efficient sulfide control in sewers

Jiaqi Hou, Yiming Li, Haixiao Guo, Yufen Wang, Yanying He, Tingting Zhu *, Yiwen Liu *

School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, PR China

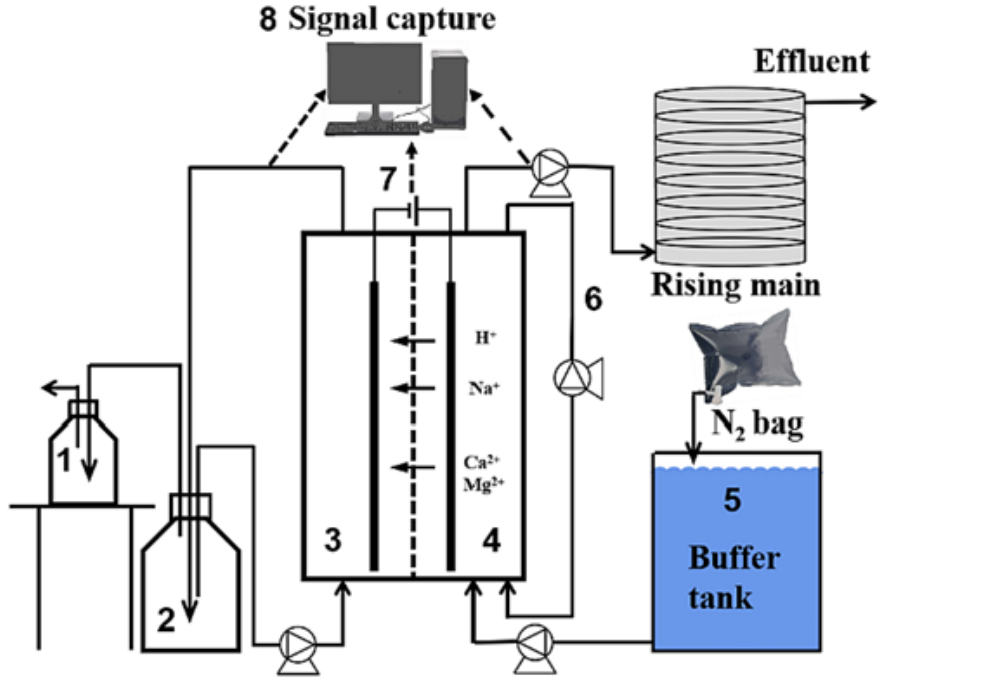


Fig. 1. The schematic diagram of experimental setup. The sewage is constantly flowing from the buffer tank into the anode chamber and getting mixed with oxygen in the anode chamber. Afterward, it flows out through a rising main. The electrolyte in the cathode chamber is circulated and any hydrogen production is discharged through a water-lock device, while preventing the entry of carbon dioxide.

Resultater

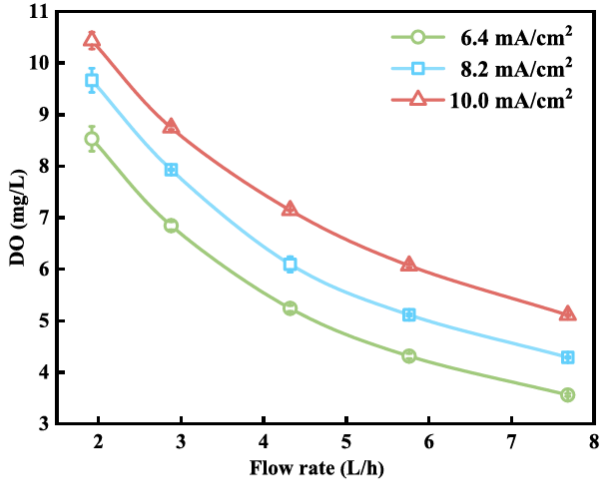


Fig. 3. Typical profiles of DO concentrations in the anode effluent at various current densities of 6.4, 8.2 and 10 mA cm^{-2} with anode flow rates of 1.92, 2.88, 4.32, 5.76 and 7.68 L/h.

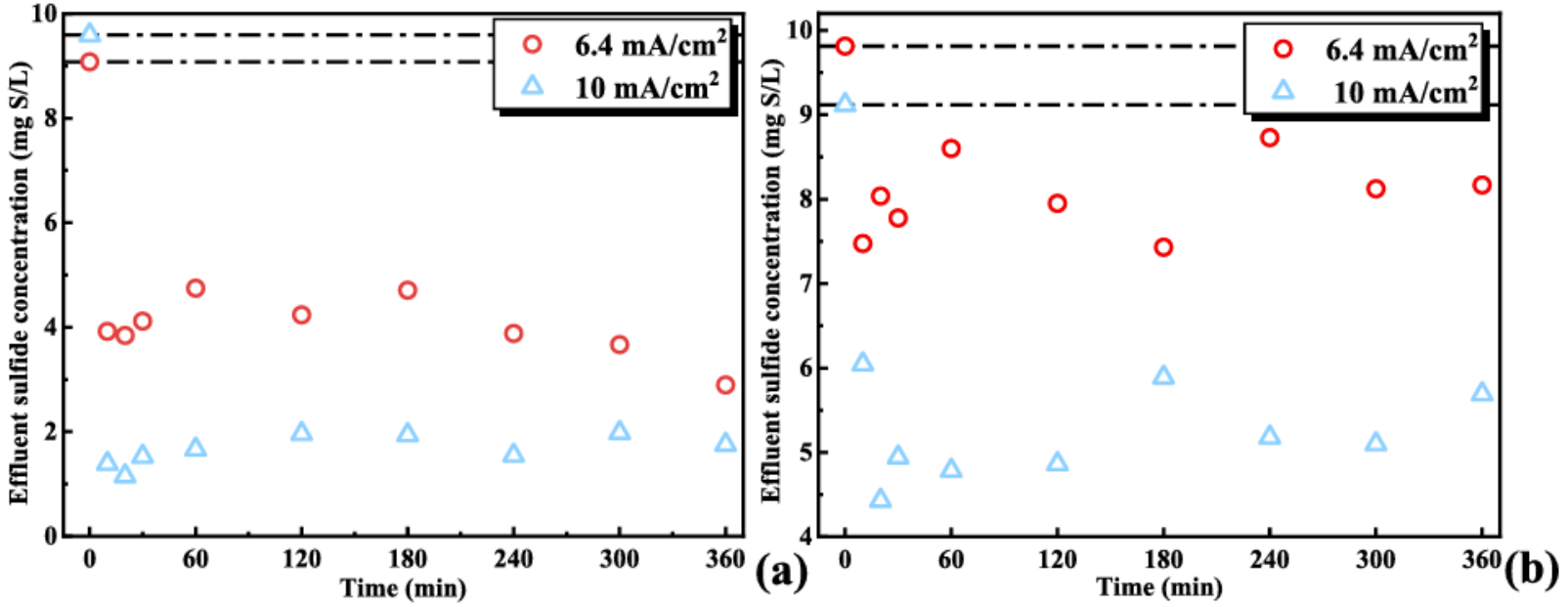


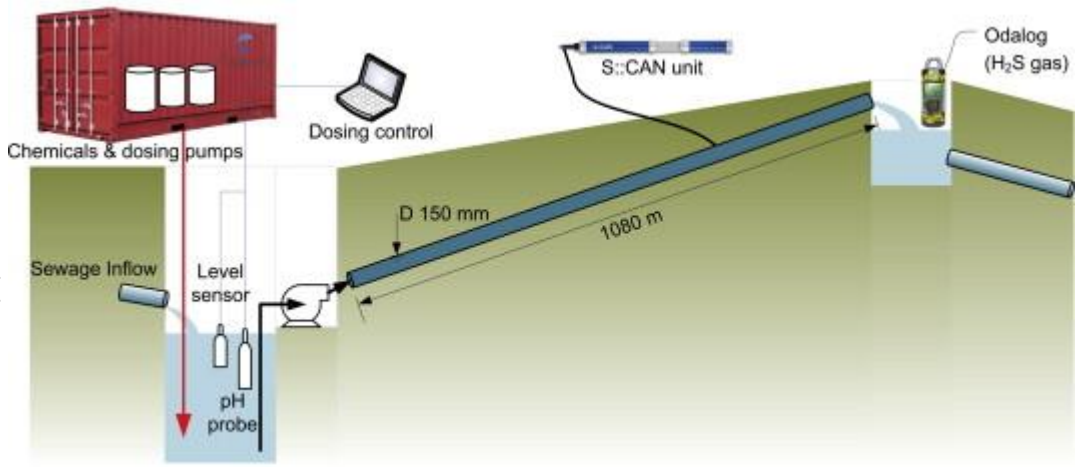
Fig. 4. The effluent sulfide concentrations at current densities of 6.4 and 10 mA cm^{-2} with a flow rate of (a) 2.88 L/h or (b) 5.76 L/h in the absence of trace elements during 6 h experiments.

Free Nitrous Acid (FNA)

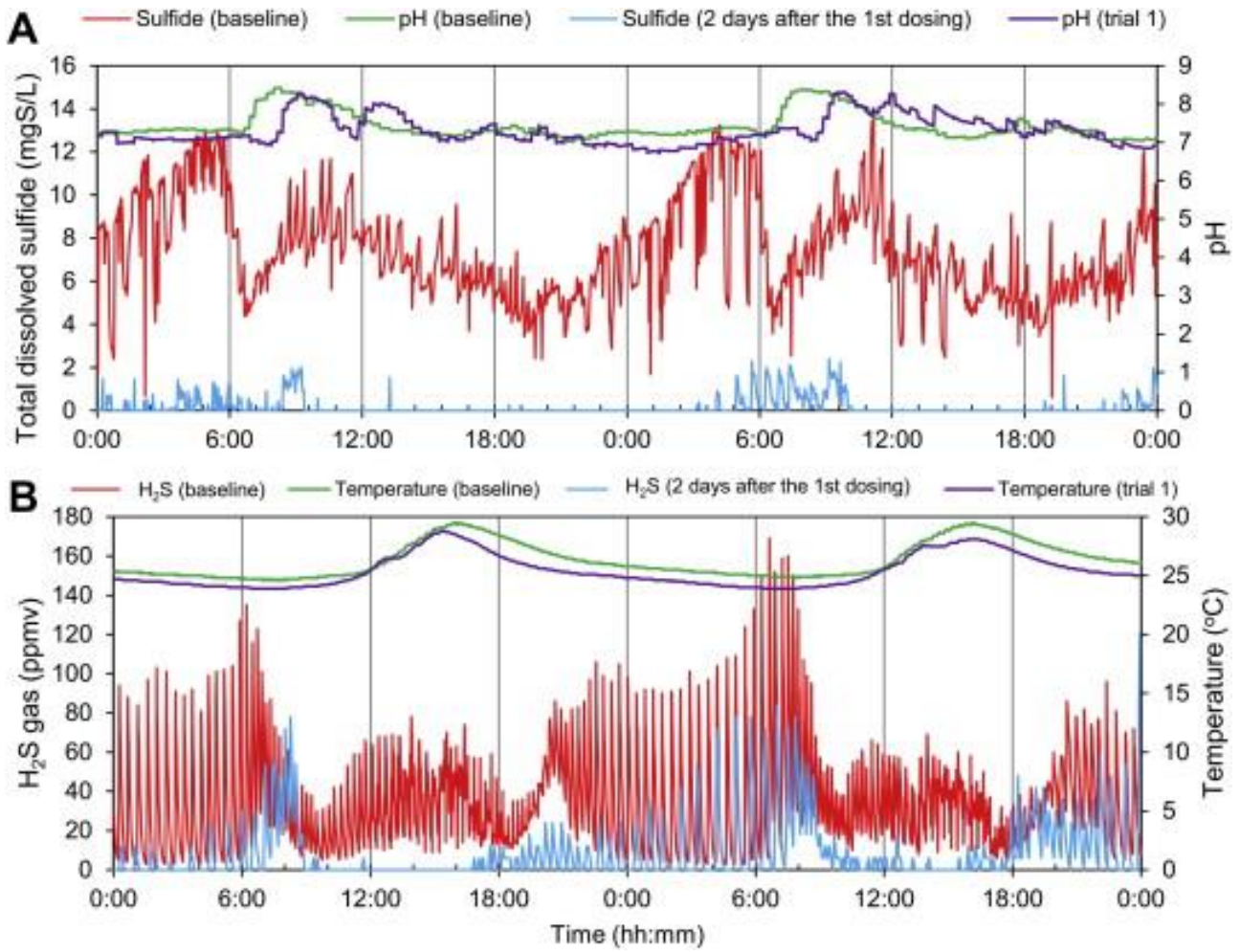
- Lovende teknologi som har været testet igennem en række år
- Free Nitrous Acid (Da.: Saltpetersyrling HNO_2) er toxisk for sulfatreducerende mikroorganismer
- Tilføres periodisk i pumpesump:

- pKa = 3.4

- Typisk dosis for effektiv kontrol: 100 mg-N/L @ pH 6



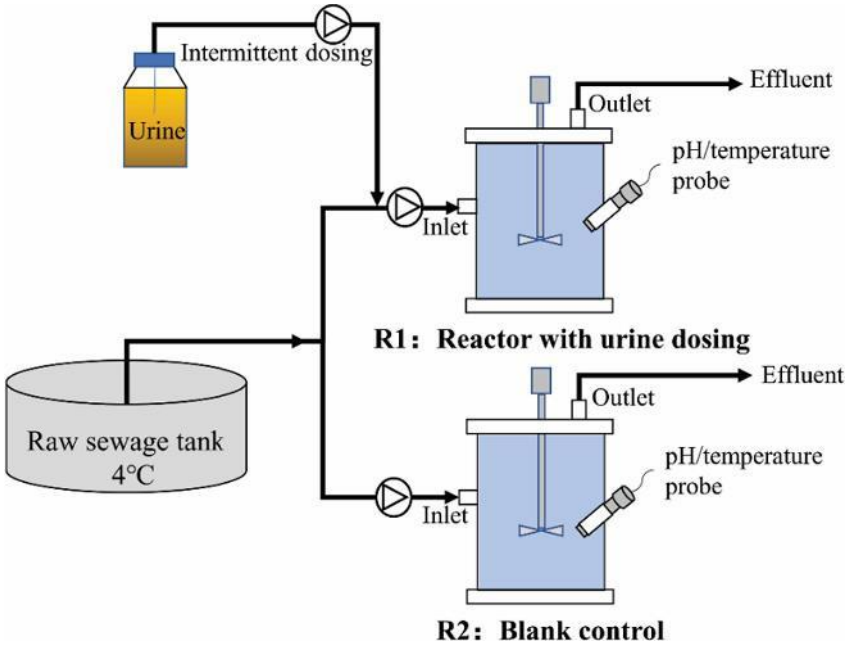
FNA

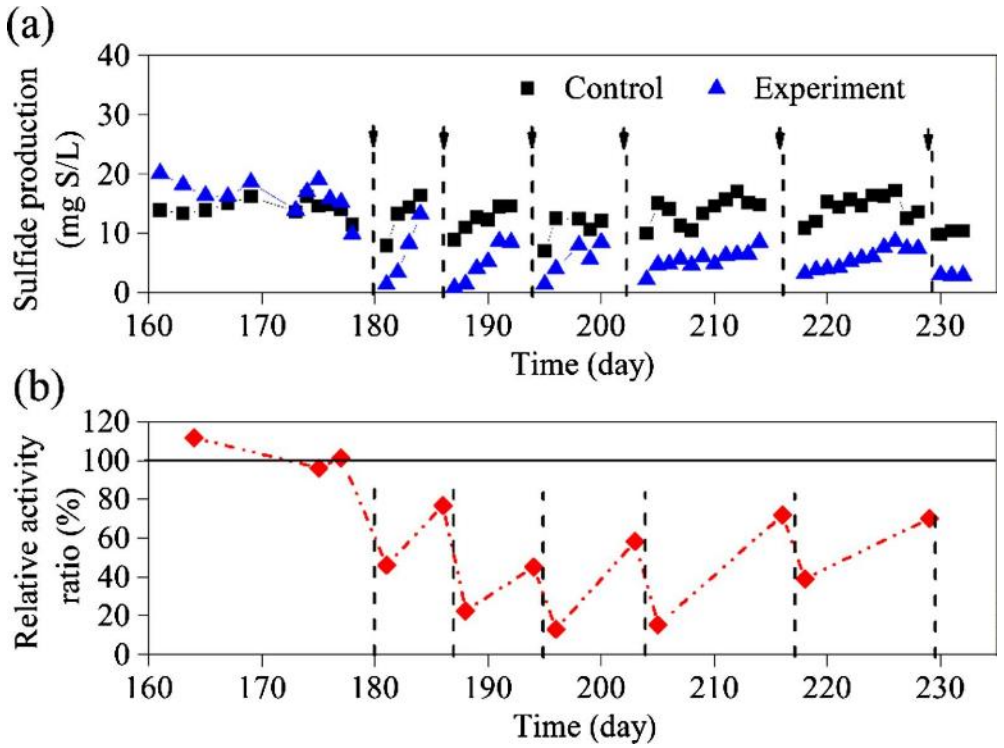


Typical profiles of dissolved sulfide and wastewater pH at 828 m downstream of a pump station before and after dosing (A); and H_2S gas and atmospheric temperature in discharge wet well before and after dosing (B).

Free Ammonia (FA)

- Høje koncentrationer af ammonium/ammoniak er inhiberende for sulfat reducerende bakterier (SRB)

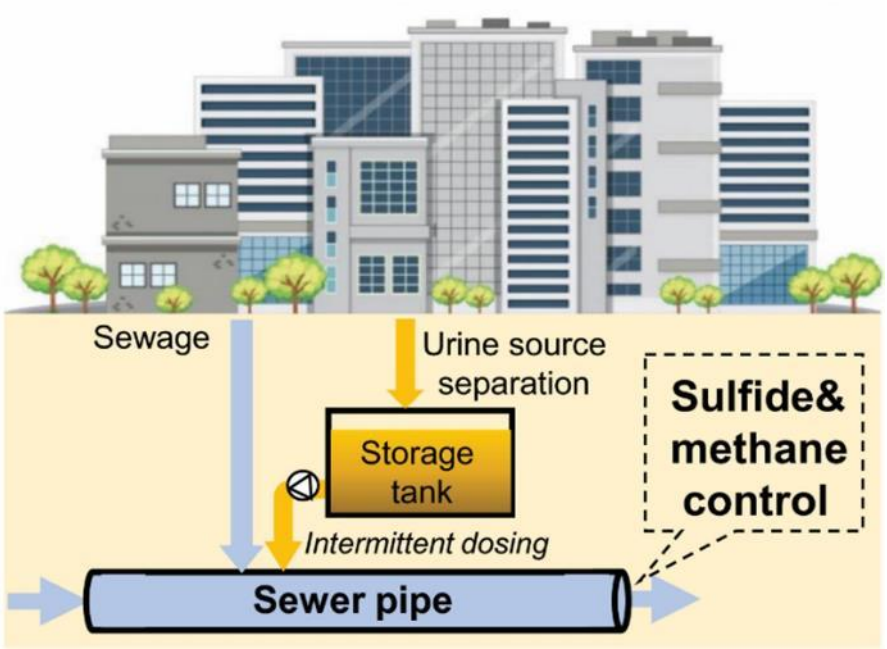


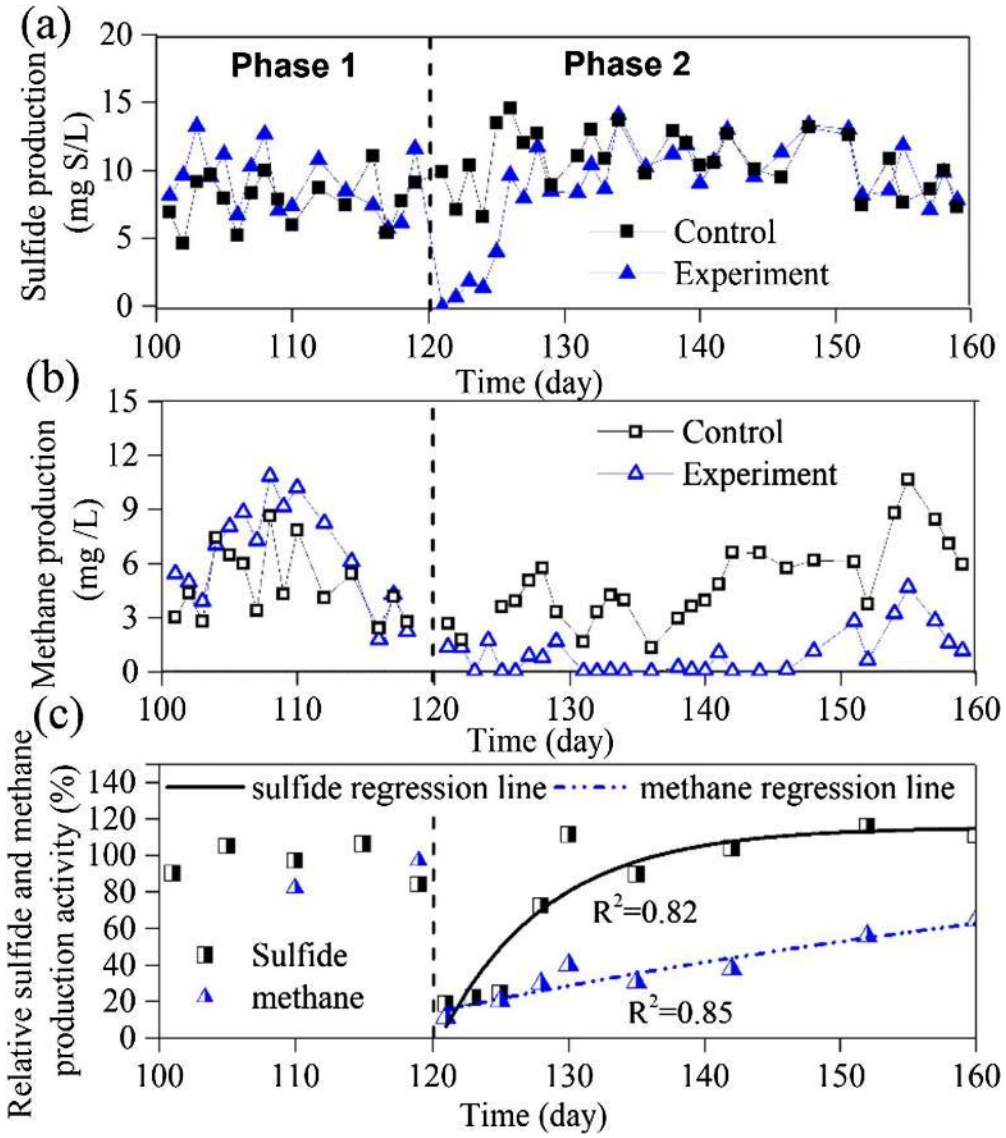


https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105928

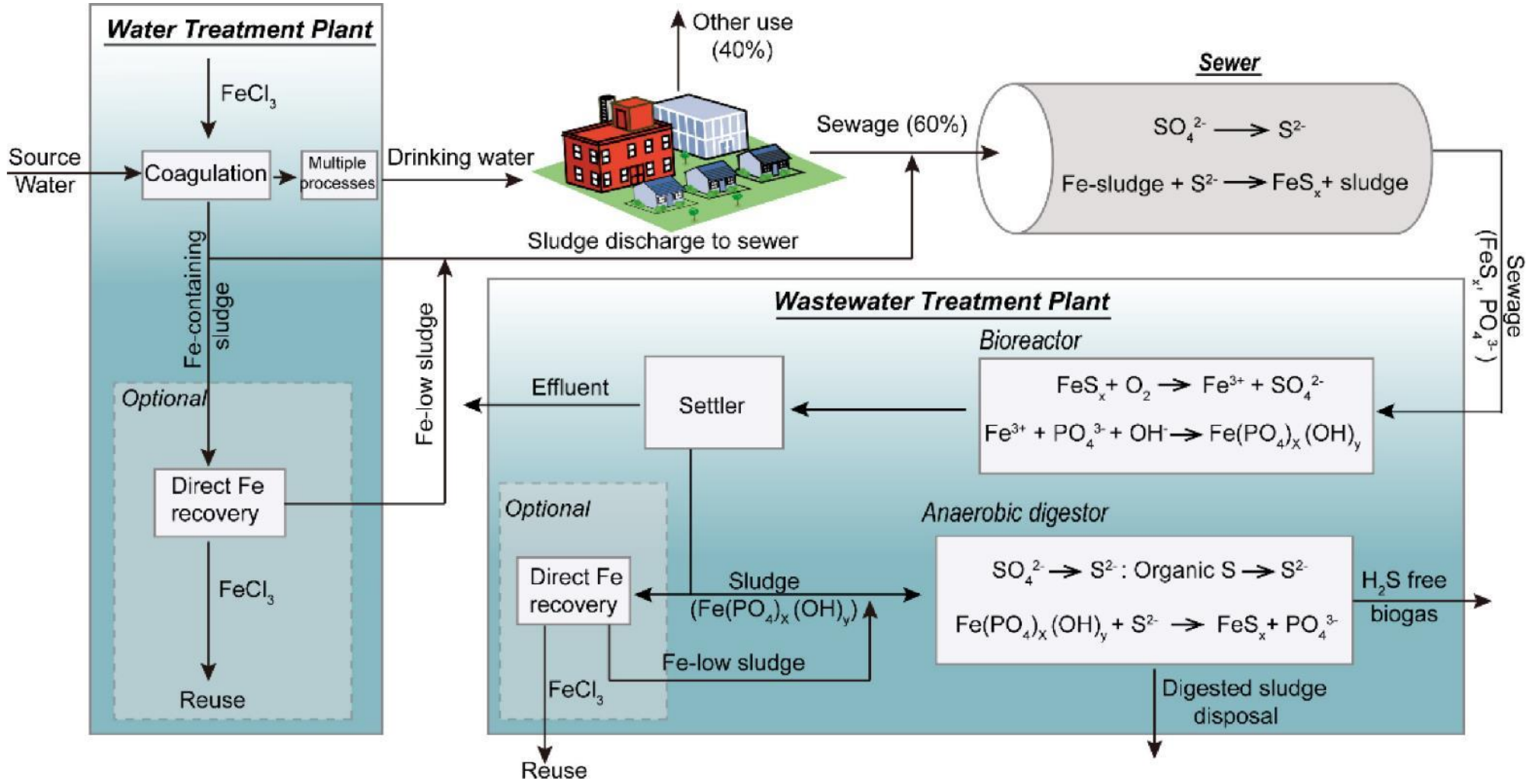
Free Ammonia (FA)

- Særligt metan-dannelsen reduceres





Jernholdigt slam fra drikkevandsproduktion



Jernslam doseret i underskud, men stadig en positiv effekt

Jernholdigt slam fra drikkevandsproduktion

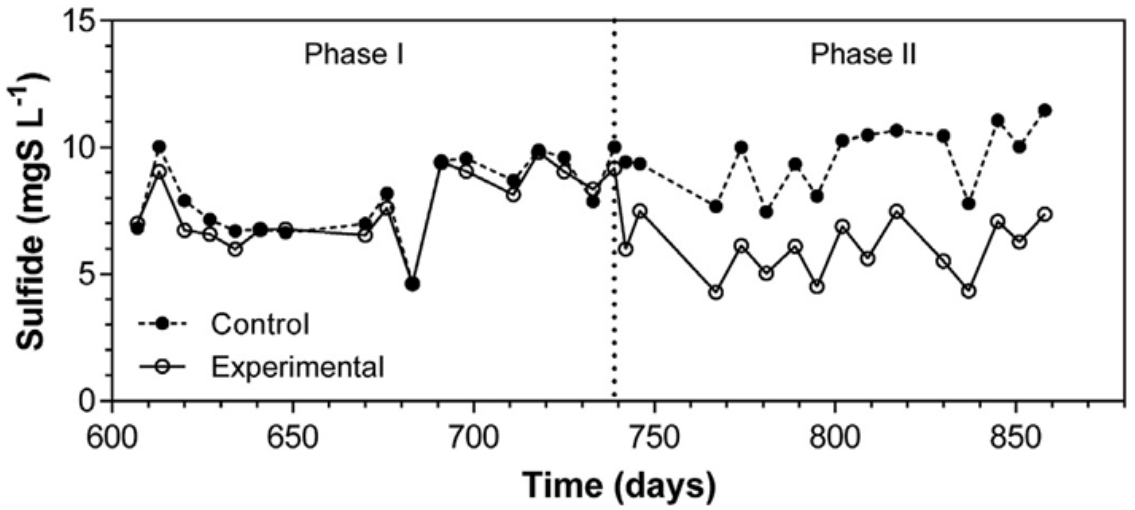
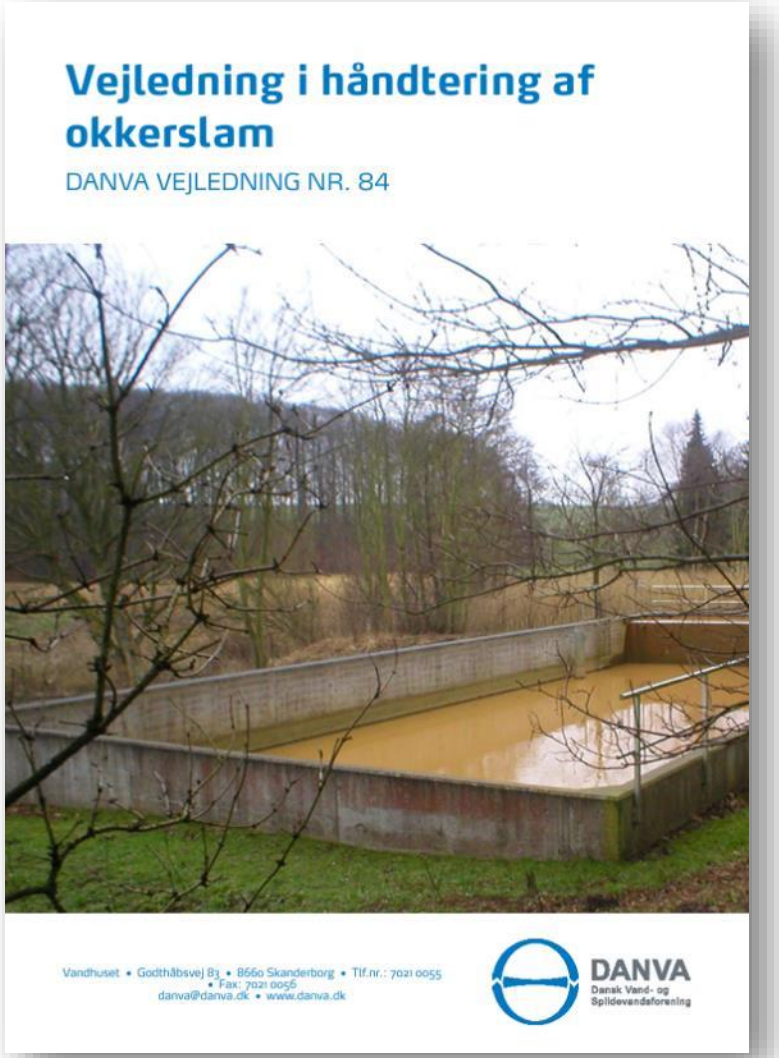


Fig. 2. Dissolved sulfide concentrations of the control and experimental sewer reactor effluents (see Fig. 1, sample point 2). Phase I is the baseline period. The vertical dotted line (Day 739) marks when in-sewer iron-rich DWS dosing to the Experimental system (Phase II) was initiated.

https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115396

Jernholdigt slam fra drikkevandsproduktion

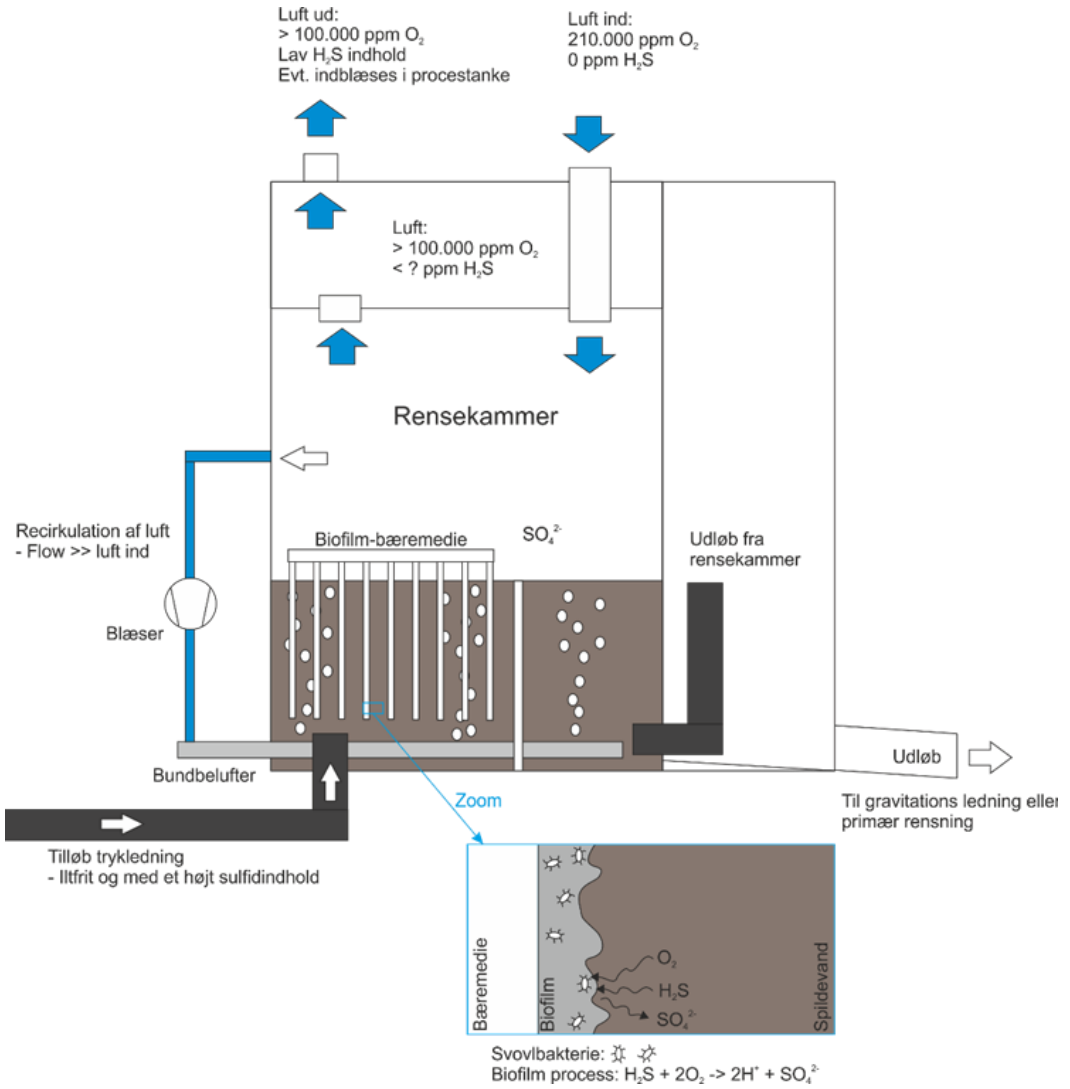
- Anvendelsen er afprøvet i flere omgange herhjemme
- Anvendes også i biogas-anlæg til at reducere H_2S indhold
- Der er en række udfordringer, som dog kan løses/håndteres
  - Indhold af tungmetaller, fx As
  - Varierende jernindhold
  - Bundfældning/omrøring nødvendig



End-of-pipe behandling

- VUDP foreningen har i 2023 bevilliget midler til projektet ”Bæredygtig svovlbrintebekæmpelse i tryksatte afløbssystemer”

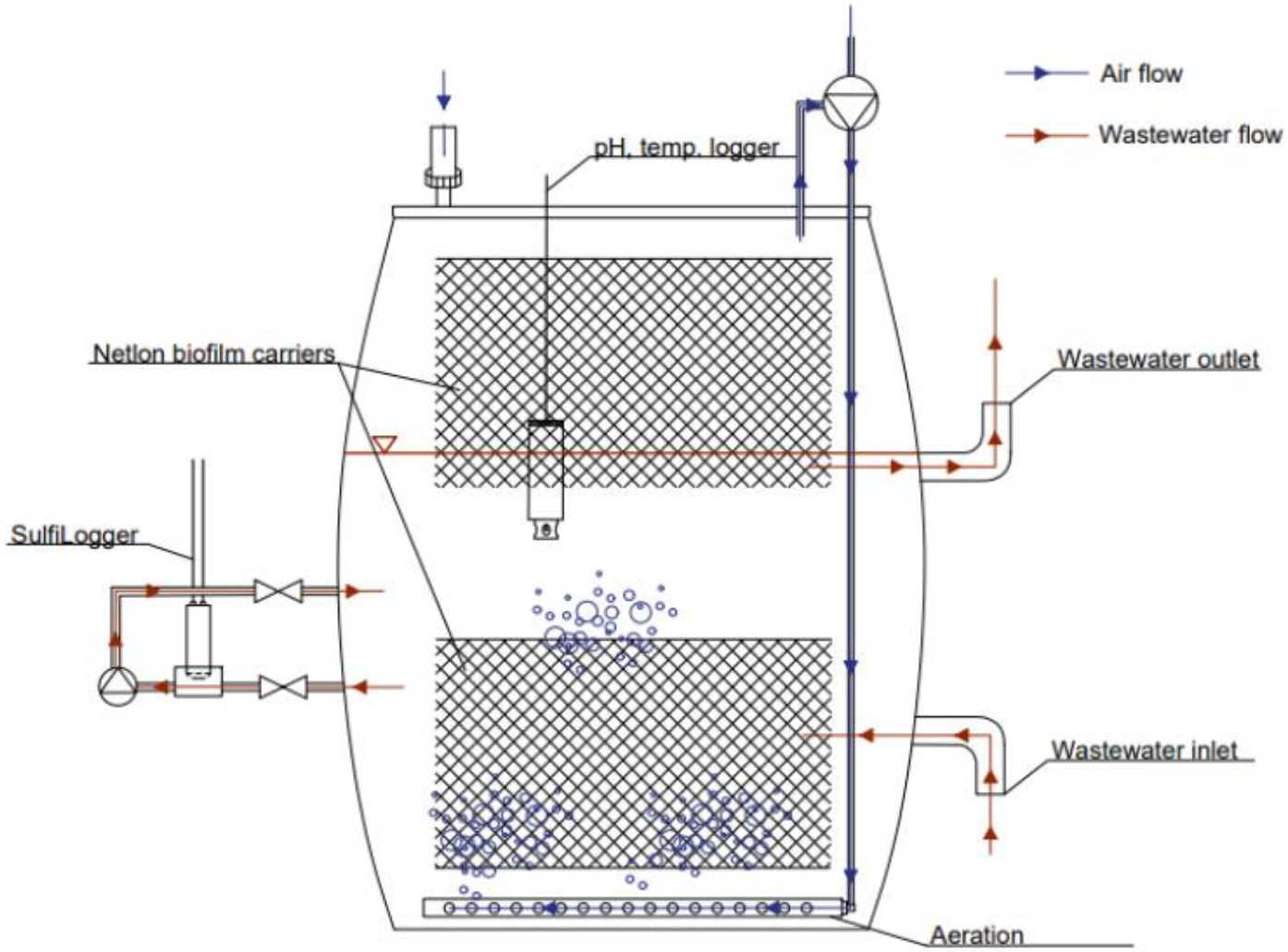
- Projektet skal undersøge potentialet for biologisk omsætning af svovlbrinte nedstrøms for (lange) trykledninger



End-of-pipe behandling

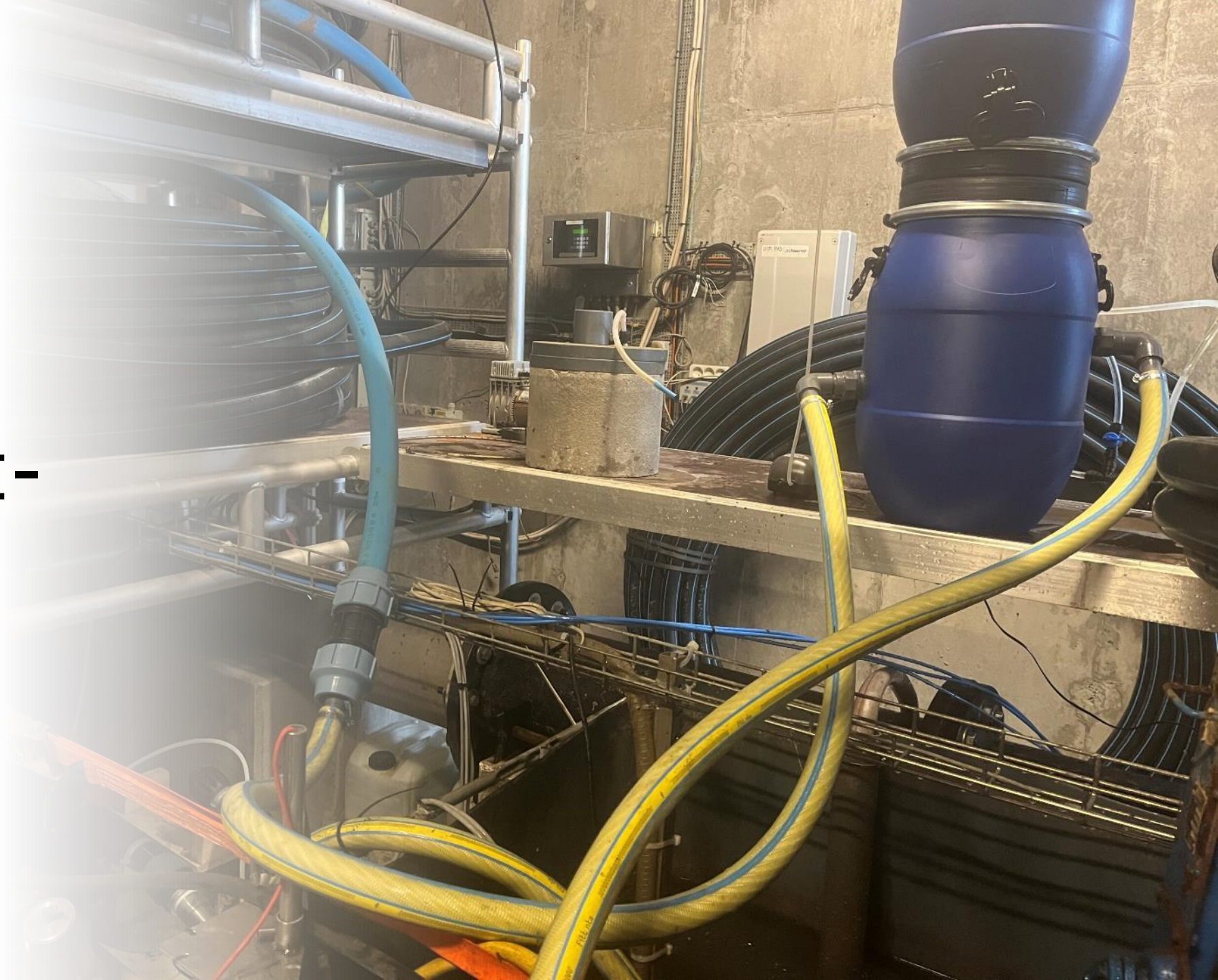
- Projektperiode Sept-23 til Feb-25 (sommer 2025)

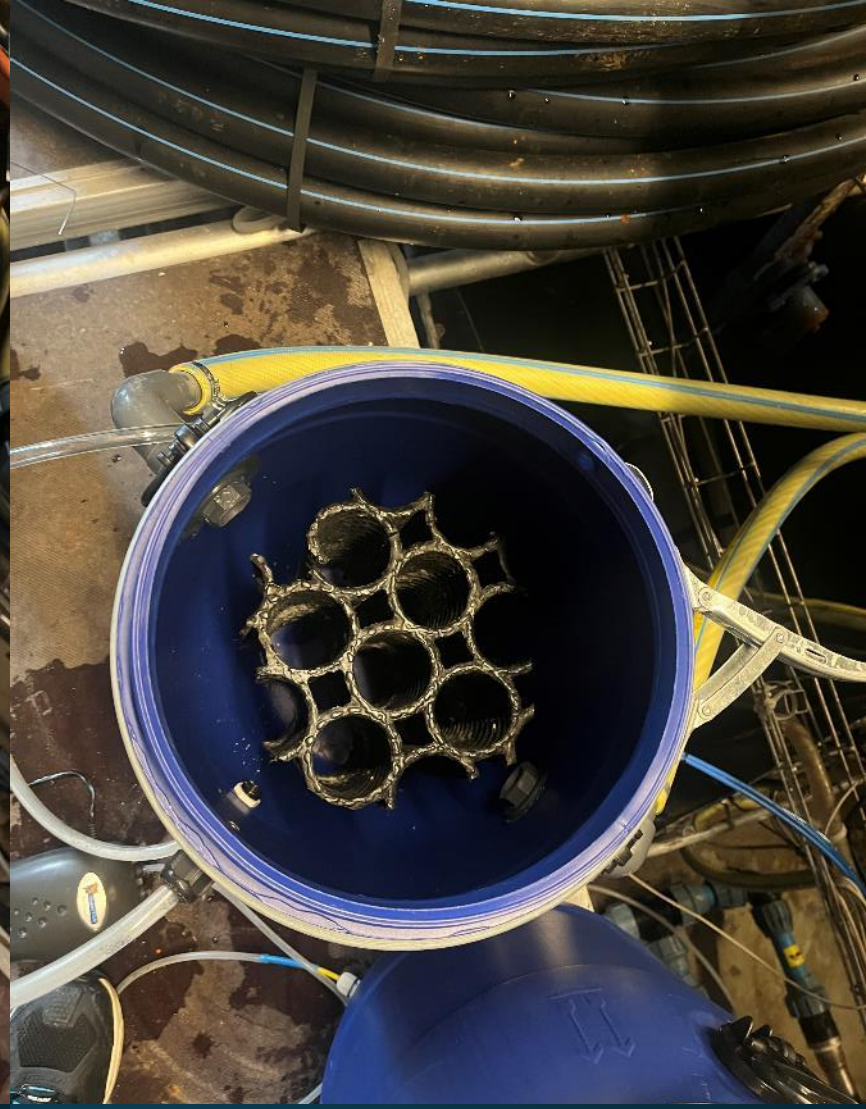
- Pilot-skala opstilling er ved at blive testet (30 L opstilling efter en 400 m Ø50 mm trykledning)



Lille pilot-skala

Forsøgsopstilling



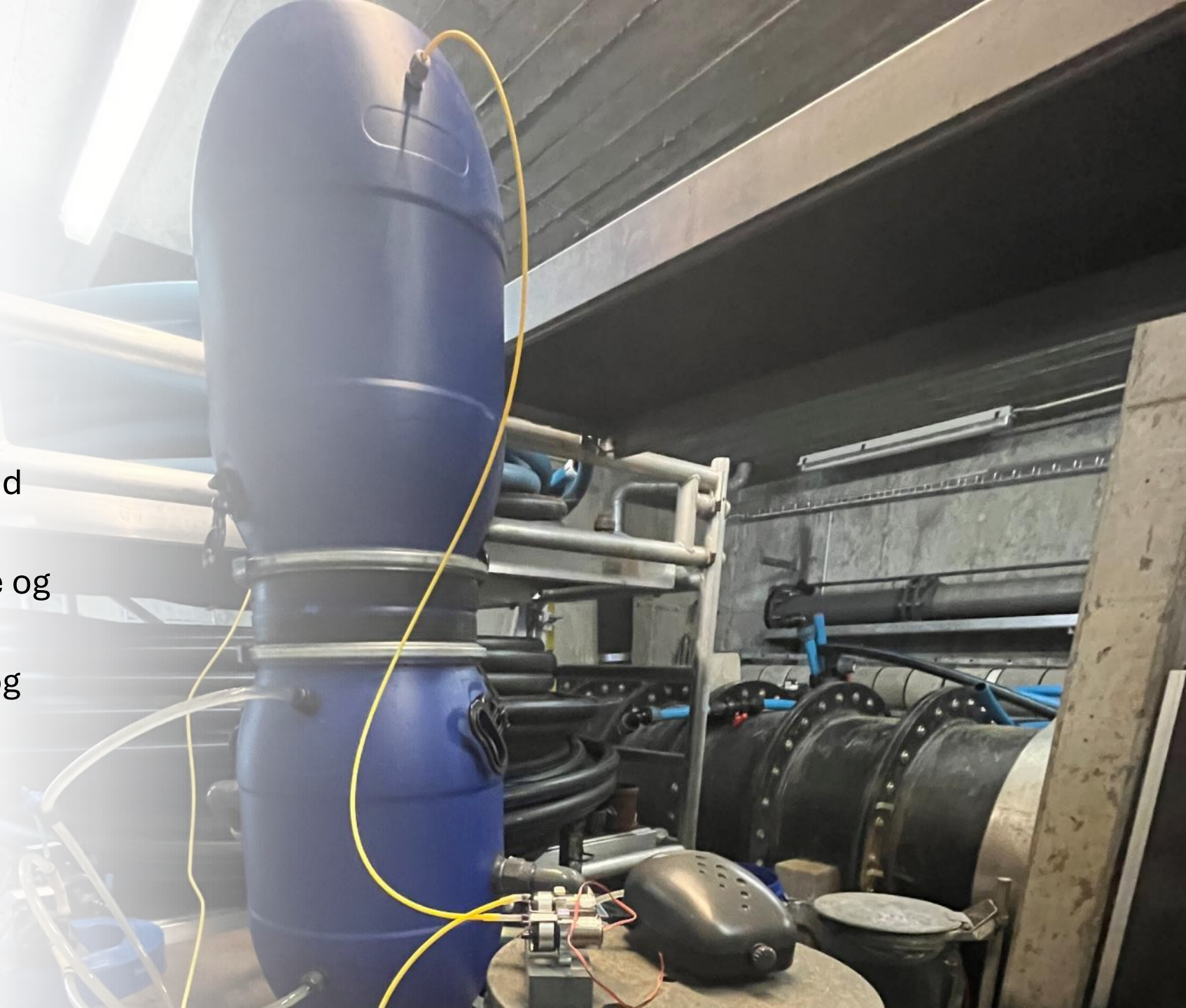


Forsøgsopstilling

Lille pilotskala

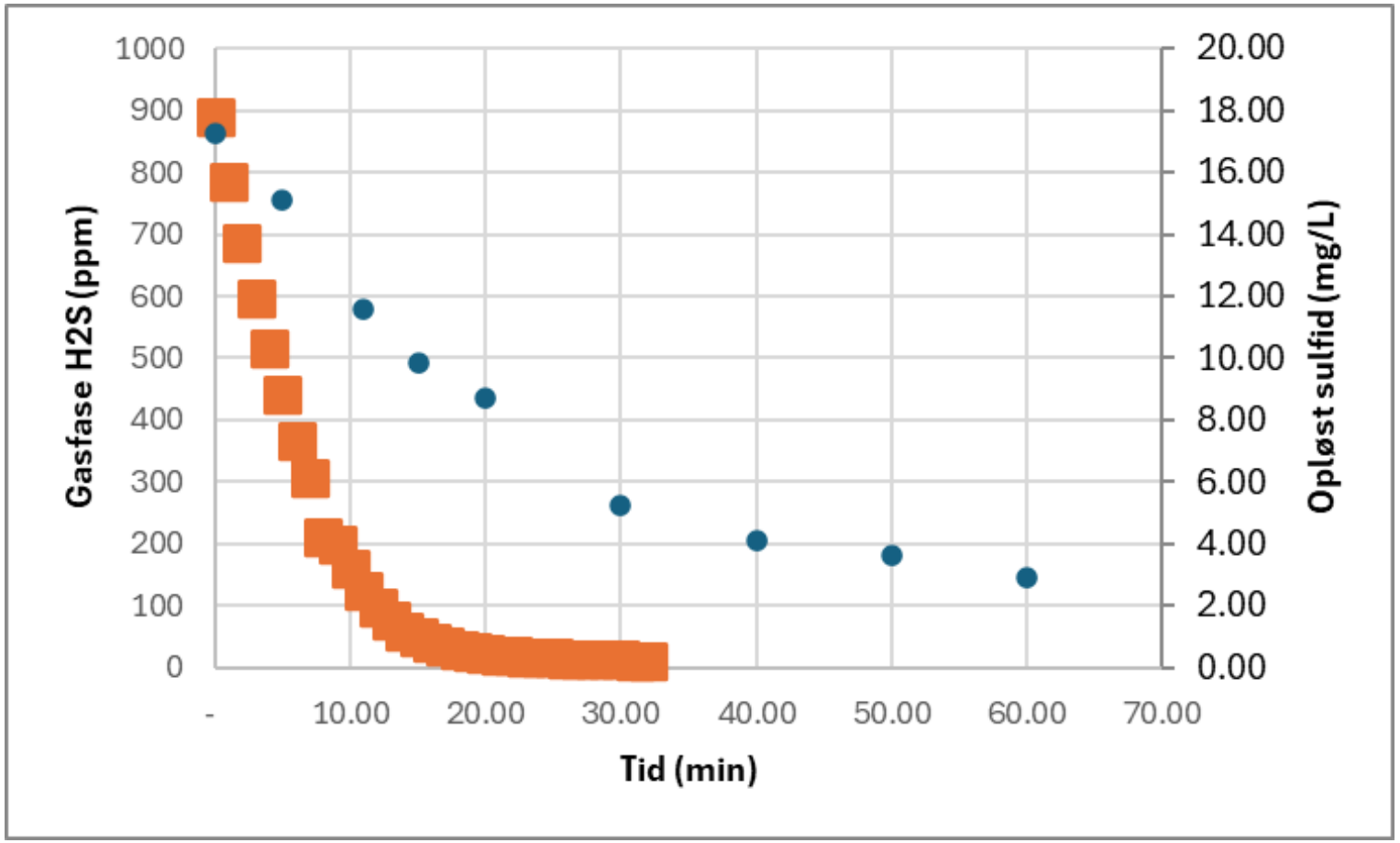
Forsøg – lille pilotskala

- Luft recirkuleres med luftpumpe (lamelpumpe)
- Spildevand recirkuleres med centrifugalpumpe
- Vandprøver udtages løbene og analyseres for opløst sulfid
- Gas-fase males med Odalog



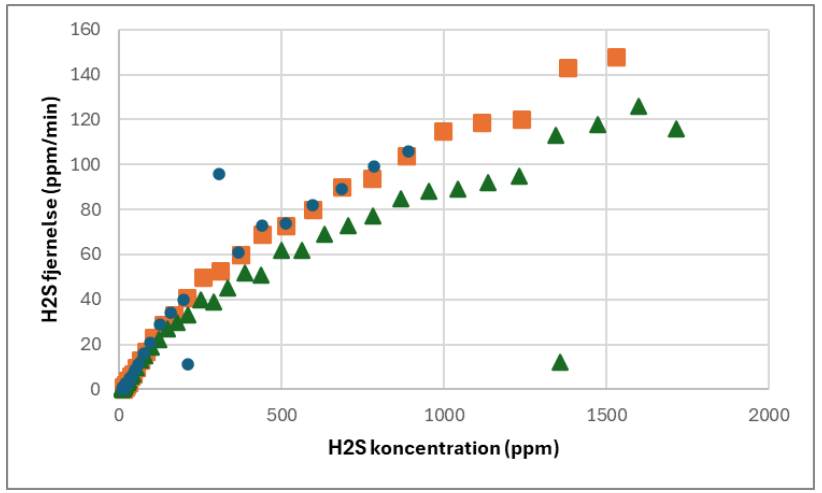
FORELØBIGE RESULTATER

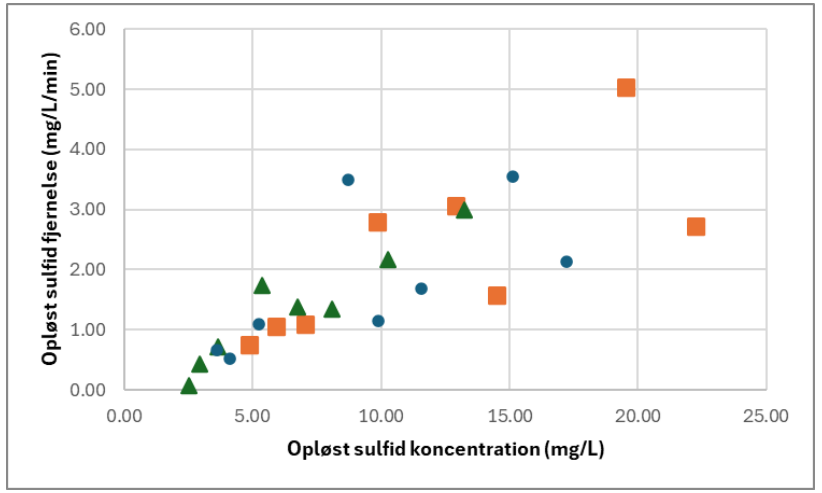
Fjernelse af opløst sulfid:

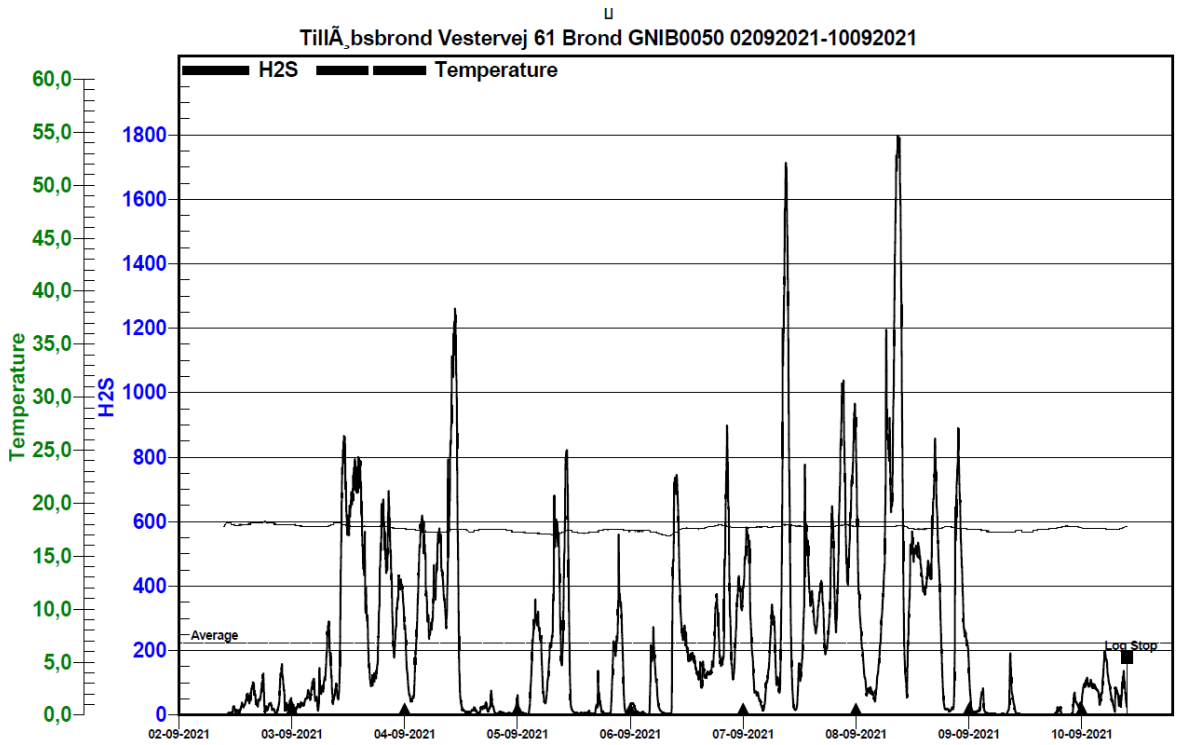


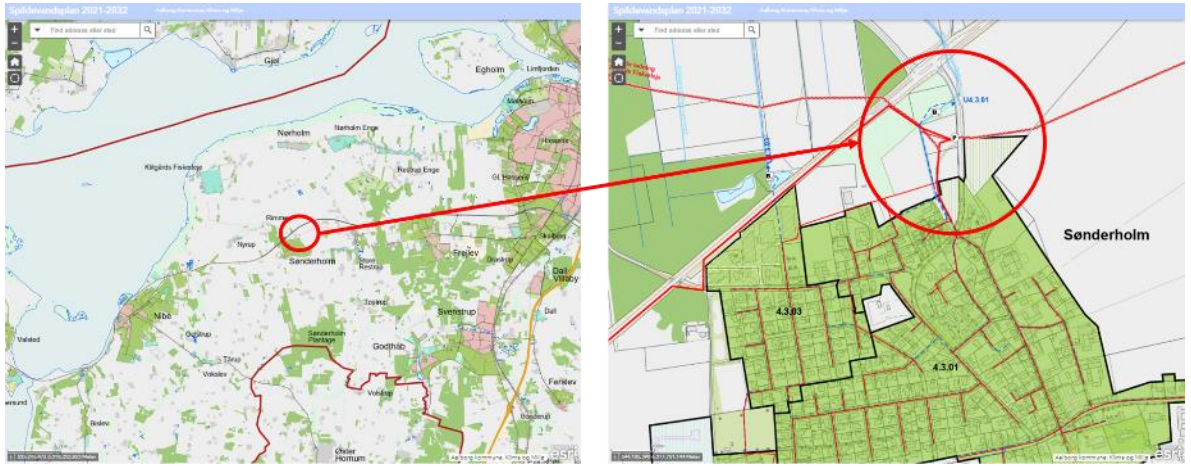
Foreløbige resultater

- Hurtig H_2S fjernelse (halveringstid mindre end 30 min)
- Resultater er stærkt afhængige af beluftningskapacitet > kraftig blæser
- Tidskrævende med kemisk analyse af prøver > on-line måling med sulfilogger









Stor pilot-skala forsøg

Opstart til ultimo 2024 (der er søgt 3 mdr udsættelse af slutdato. Forsommer 2025.

Anbefalede strategier

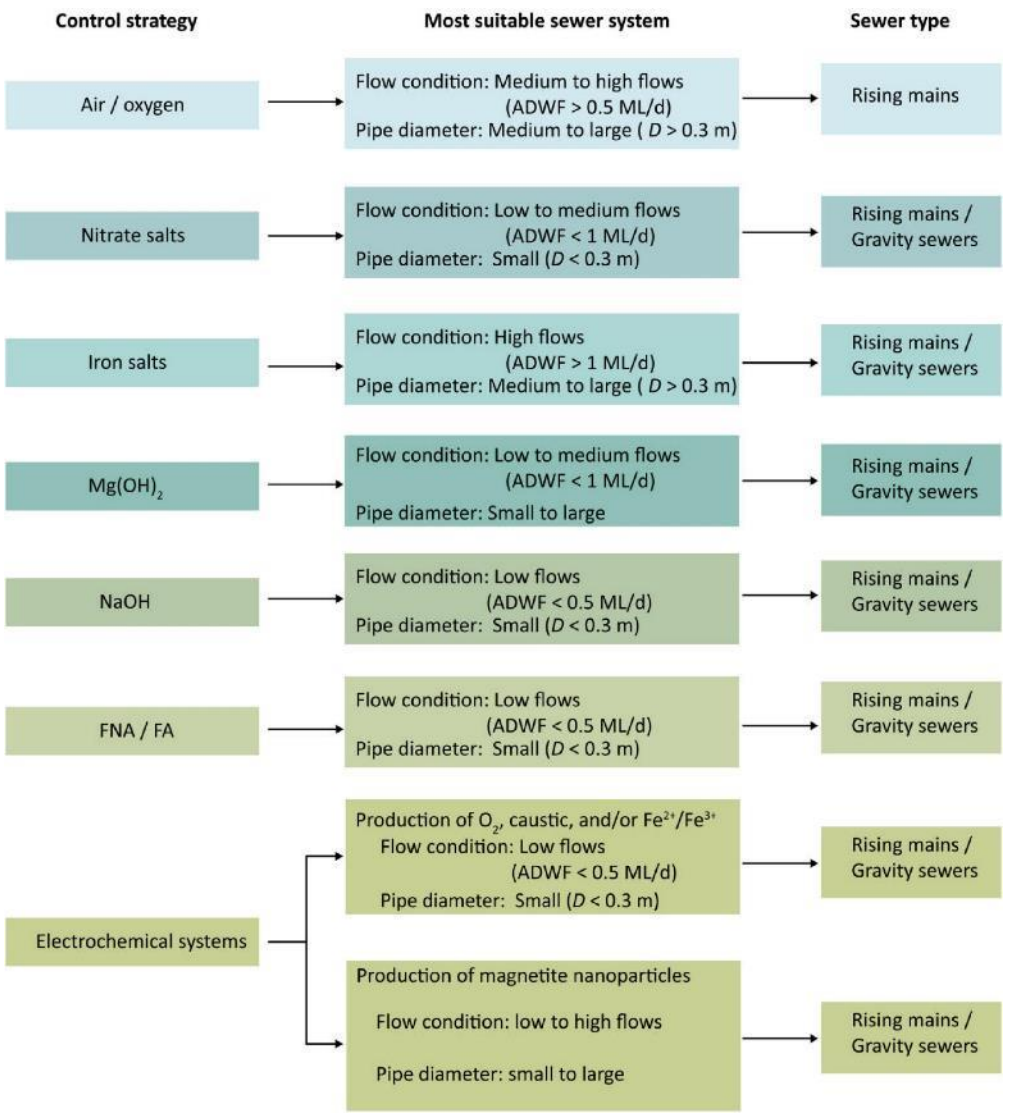
ELSEVIER

Water Research

Volume 240, 15 July 2023, 120046

Hydrogen sulfide control in sewer systems: A critical review of recent progress

Liang Zhang [a], Yan-Ying Qiu [a], Keshab R. Sharma [b], Tao Shi [b], Yarong Song [b], Jianliang Sun [c], Zhensheng Liang [a], Zhiguo Yuan [b d], Feng Jiang [a]



https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120046