

# Udfordringer ved lange transportledninger til spildevand

Jes Vollertsen  
Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg



# Centralisering: fordele og ulemper

- **Fordel:**
  - Større og mere effektive renseanlæg
- **Ulempe:**
  - Lange transportafstande
- Der må være et punkt, hvor det ikke kan svare sig at centralisere yderlige
- Hvor dette punkt ligger afhænger af:
  - Opland (geografi, topografi)
  - Udlederkrav (forskellige krav til forskellige recipienter)
  - Renseteknologi (hvor avanceret skal vi rense)
  - Hvor mange gener beboere tæt på ledningsnettet skal tåle



# Dette indlæg ser alene på ulemperne ved centralisering

- Lange transportafstande:
  - Store anlægsomkostninger til afskærende ledninger
  - Driftsudgifter til pumpning
    - Strøm
    - Svovlbrinte, korrosion, lugt



# Refleksioner på det med at pumpe over lange strækninger

- Vi vil spare på strømmen, altså have mindre hastighed i trykrørene
  - Det giver flere aflejringer, mere biofilm og dermed mere ruhed
  - Øget ruhed giver større modtryk og dermed mere strømforbrug
  - Finde balancepunkt hvor strømforbrug og ruhed optimeres
- Vi vil spare på strømmen, altså have mindre hastighed i trykrørene
  - Det giver mere svovlbrinte da vi pumper i længere tid ad gangen

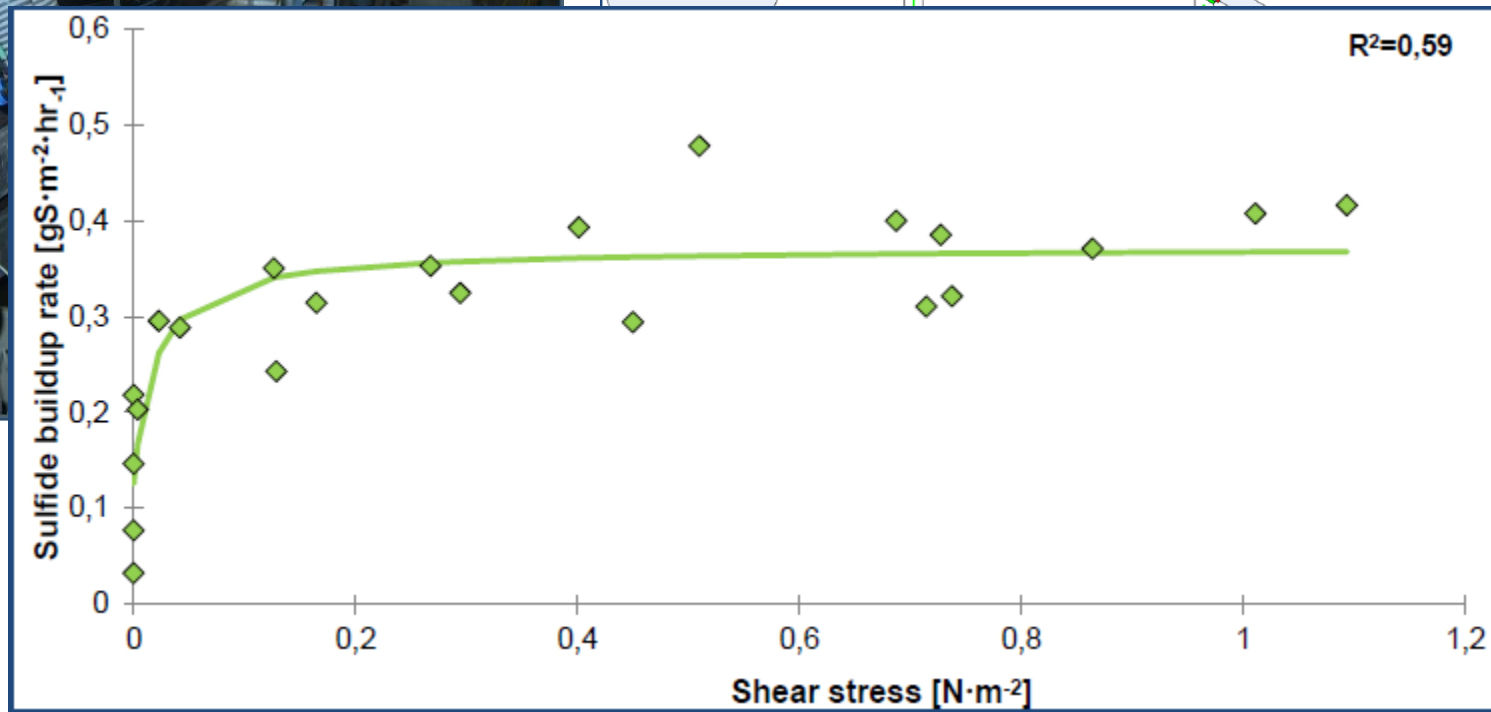
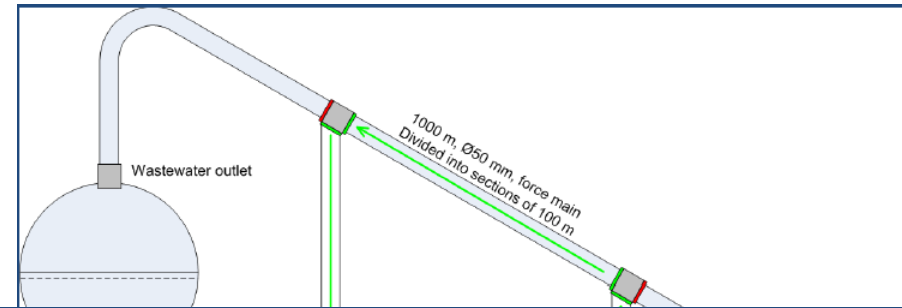
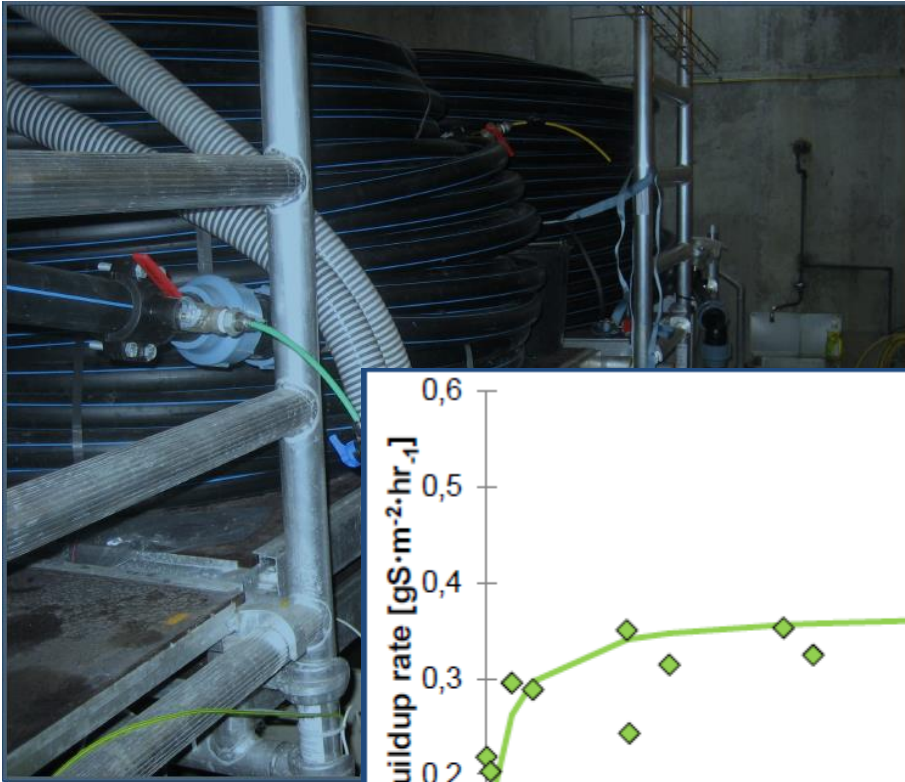


# H<sub>2</sub>S-FORMATION UNDER VARYING FLOW CONDITIONS IN FORCE MAINS

*Martin Lyngso\*, Asbjørn Haaning Nielsen\*\*, Bruno Kiilerich\*, Christian Schou\*, Jes Vollertsen\*\**

\* Grundfos

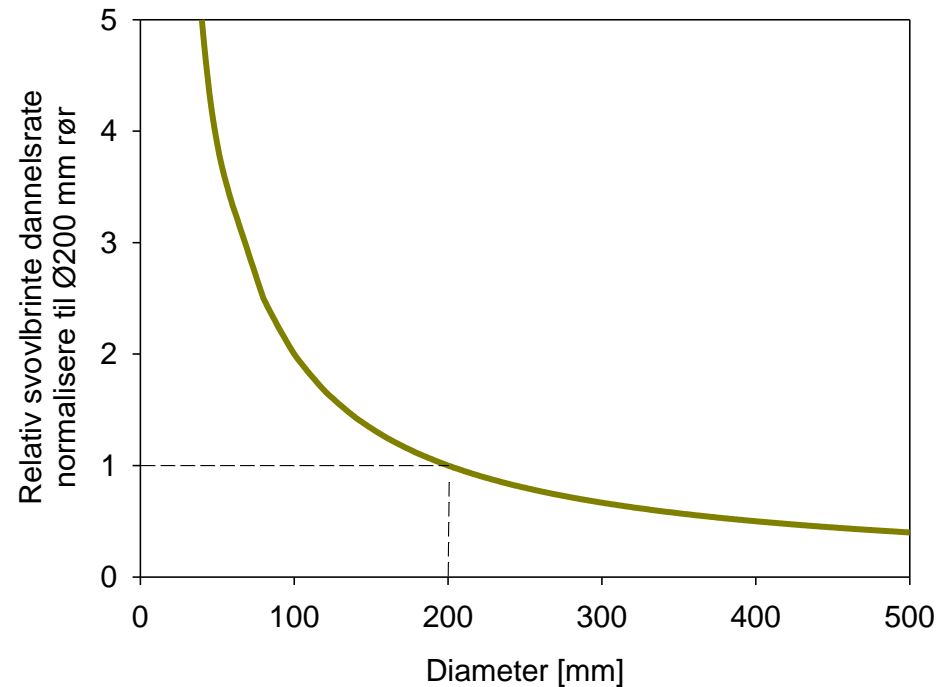
\*\*Aalborg University



# Svovlbrinte – uundgåelig når man pumper spildevand

Prioriteret rækkefølge af forhold, der giver øget svovlbrinte:

- **Opholdstid** – dobbelt så lang opholdstid giver dobbelt så meget svovlbrinte
- **Diameter**  
Ved fast opholdstid stiger svovlbrintedannelsen med faldende diameter
- **COD**  
– svovlbrinte øges med 40% ved fordobling af COD
- **Temperatur**  
– svovlbrinte øges med 35% for hver 10°C



# Effekten af at kloakere det åbne land

- Tryksatte pumpesystemer giver
  - **Lang opholdstid**
  - **Lille diameter**
  - Høj COD da infiltration er mindre end normalt
- Alt i alt betyder dette:
  - **Masser af svovlbrinte**
  - Men i ret små vandmængder



# Effekten af et “bedre” kloaksystem

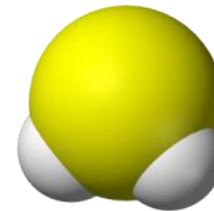
- Mindre indsvivning → mindre vand i ledningsnettet
- Mindre vandforbrug → mindre vand i ledningsnettet
- Mindre vand i ledningsnettet fører til:
  - Mere COD → mere svovlbrinte
  - Længere opholdstider → mere svovlbrinte



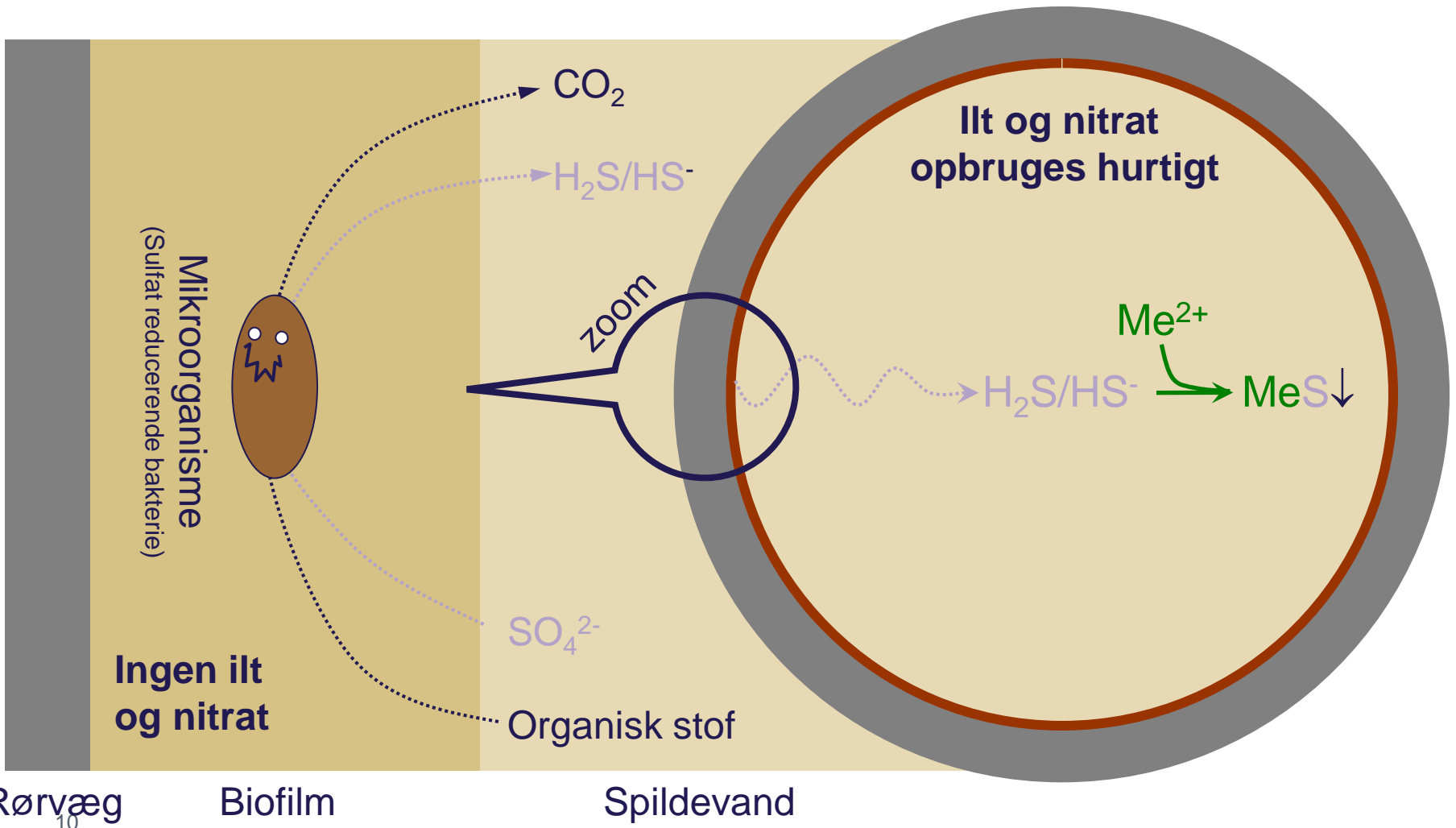


# Men hvad er er svovlbrinte (sulfid) egentlig for noget?

- Svovlbrinte er en farveløs giftig gas, der er dræbende ved koncentrationer, der kan forekomme i danske afløbssystemer
- Den er sundhedsskadelig i almindeligt forekommende koncentrationer
- Den har en karakteristisk lugt af rådne æg
- Molekyleformlen er  $H_2S$ 
  - Andre tilstandsformer:  
Opløste sulfider:  $H_2S$ ,  $HS^-$  og  $S^{2-}$   
Udfældede metallsulfider: fx  $FeS$  og  $FeS_2$

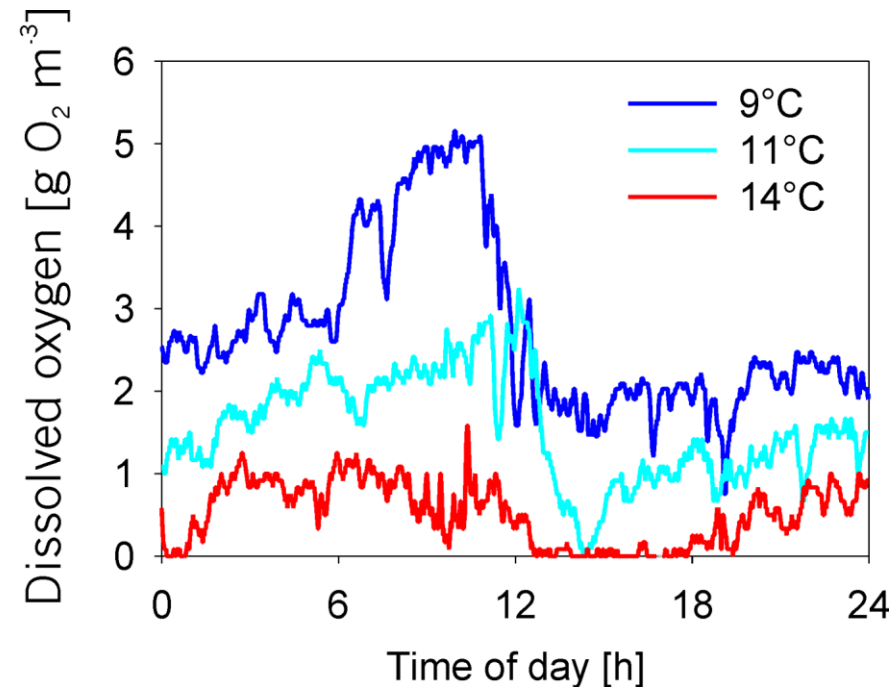


# I Danmark dannes svovlbrinte primært – men ikke udelukkende – i trykledninger



# Svovlbrinte- og lugtdannelse i gravitationsledninger

- Anaerobe forhold forekommer i almindelige, danske gravitationsledninger
- Men sjældent af et tilstrækkelig omfang til, at der dannes væsentlige mængder svovlbrinte eller andre ildelugtende stoffer



- Ved udledninger fra fødevarerindustrier kan der dog godt dannes svovlbrinte og lugtstoffer i væsentlige mængder



# Faktorer der påvirker sulfiddannelse

Parameter	Effekt
Spildevandets sulfatindhold	Ikke begrænsende hvis $> 5-15 \text{ gS m}^{-3}$ (hvilket den stort set altid er)
<u>Kvaliteten af det organiske substrat</u>	Let-omsættelig substrater som f.eks. kulhydrater forøger raten
Temperatur	Temperaturkoefficient er lav (ca. 3% forøgelse af raten per grad C)
pH	Optimum mellem pH 5.5 og 9 (ikke begrænsende i normalt spildevand)
<u>Areal/volumen forhold</u>	Stort A/V forhold medfører højere sulfiddannelse. Store rør → lavt A/V forhold*
<u>Anaerob opholdstid</u>	Forøger sulfidkoncentrationen. Store rør i pumpeledninger → stor anaerob opholdstid*
Flowhastighed	Høje vandhastigheder øger sulfiddannelsen (men da man pumper i kortere tid, bliver den samlede dannelse faktisk mindre)

# Ofte høj frigivelse i oppumpningsbrønd eller styrt

## Frigivelse i den strømmende gravitationsledning



Des mere turbulens – des større svovlbrinte frigivelse

Men... man kan kun strippe 10-30% af svovlbrinten af på den måde







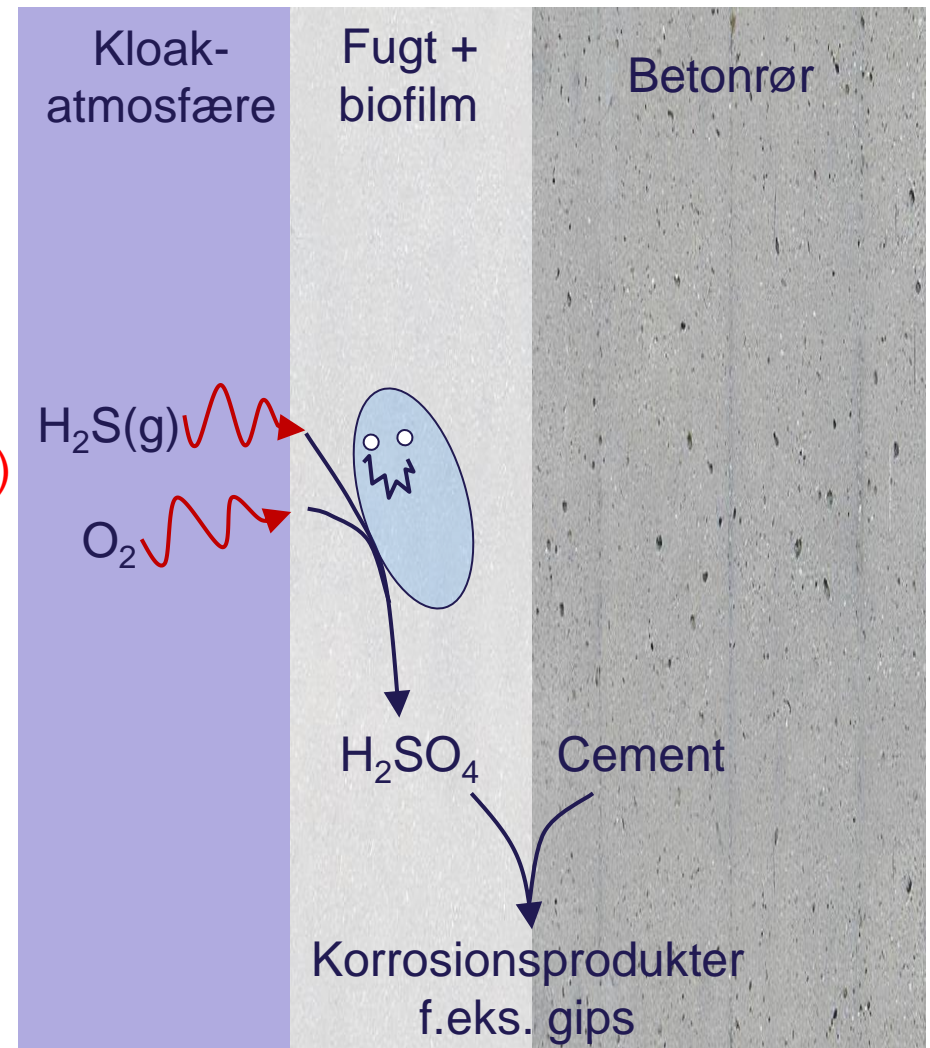
# Betonkorrosion

- Korrosionsraten kan i værste fald overstige 5 mm/år
- Typisk kraftigst i rørets krone og ved vandlinjen
- Eksempler:
  - Et ca. 30 år gammelt rør →
  - Stærkt korroderet brønd↓



# Betonkorrosion

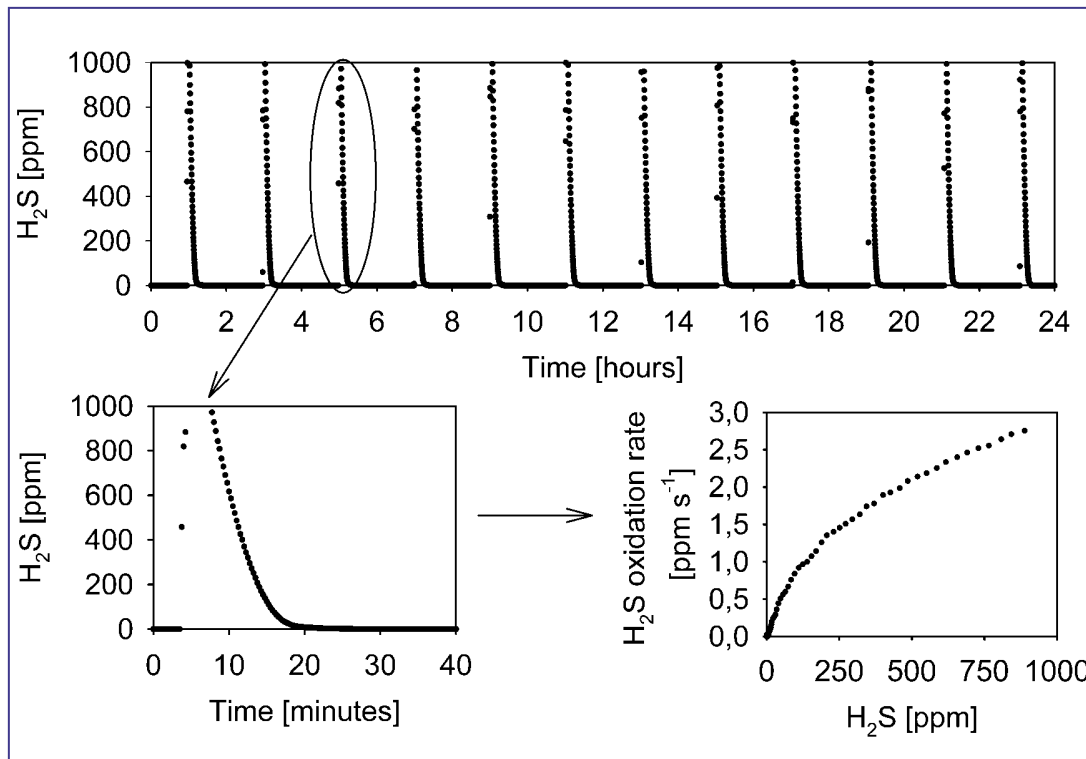
- Processer
  - Adsorption af  $H_2S$  og  $O_2$  på fugtig overflade
  - $H_2S$  oxideres til svovlsyre ( $H_2SO_4$ )
  - Svovlsyren reagerer med betonens basiske komponenter
  - **Vigtig fjernelses-mekanisme**



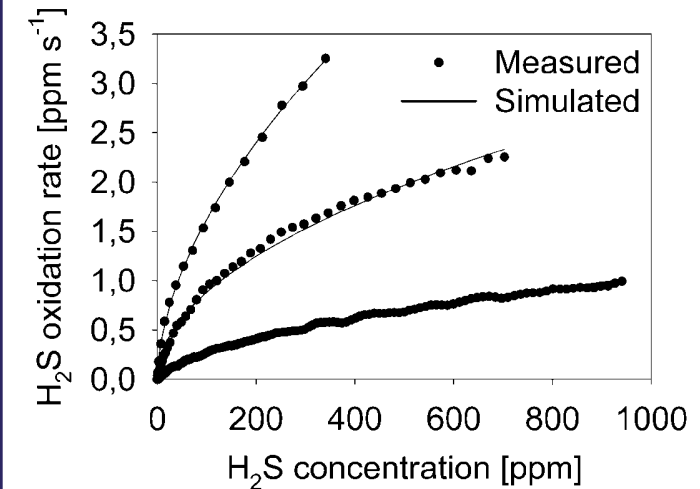


# Fjernelse i gasfasen går hurtigt

Fra 1000 til 0 ppm på 5-15 minutter – fjernelse i en Ø200 mm beton ledning



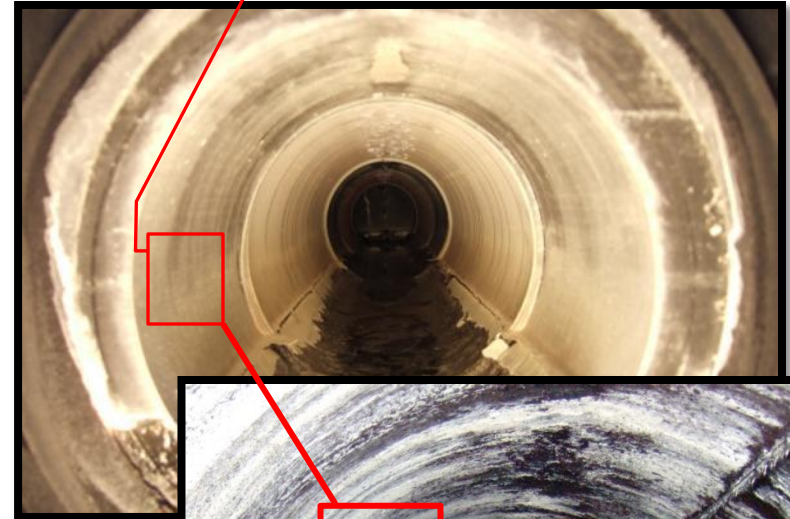
## The range of measured removal



# Betydning af rørmateriale

- Effekt af rørmateriale
  - Beton, PE og PVC
- Ved lægning af plastrør undgås korrosionsproblemer, men hvordan påvirkes svovlkredsløbet ellers?

> 85% elementær svovl

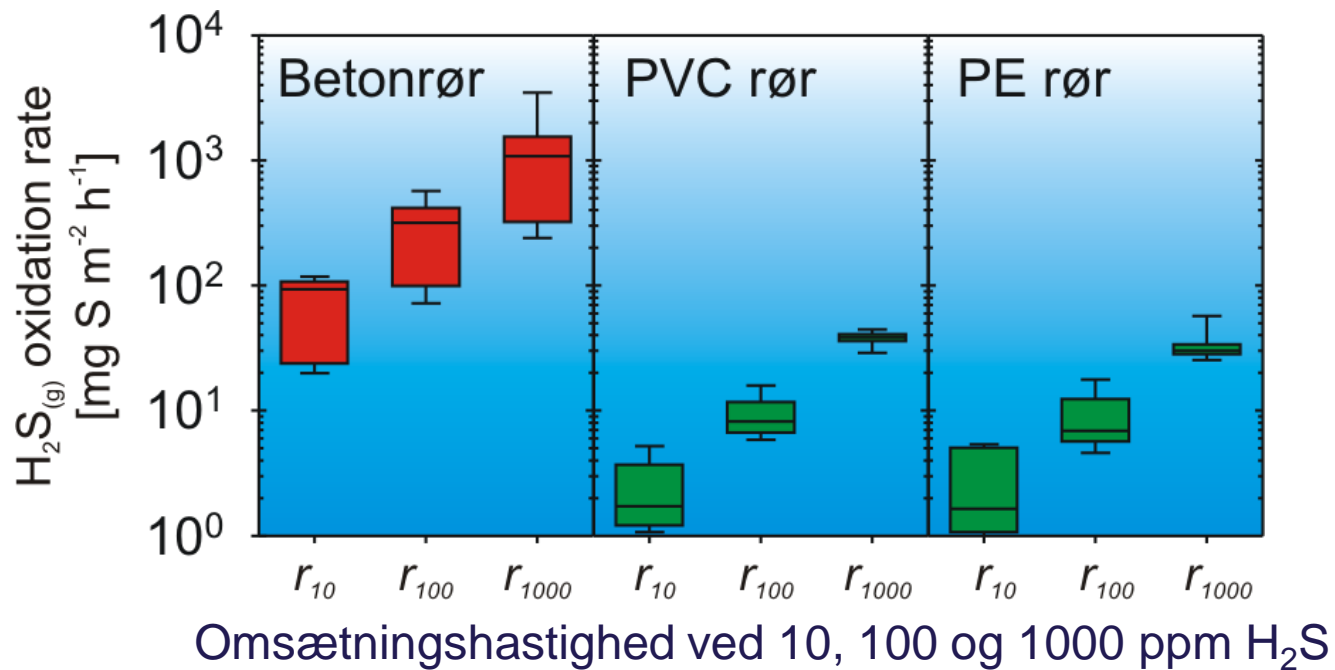


Primært gips



# Betydning af rørmateriale

- Adsorption og oxidation sker meget hurtigere på betonoverflader end plast (10-50 gange)

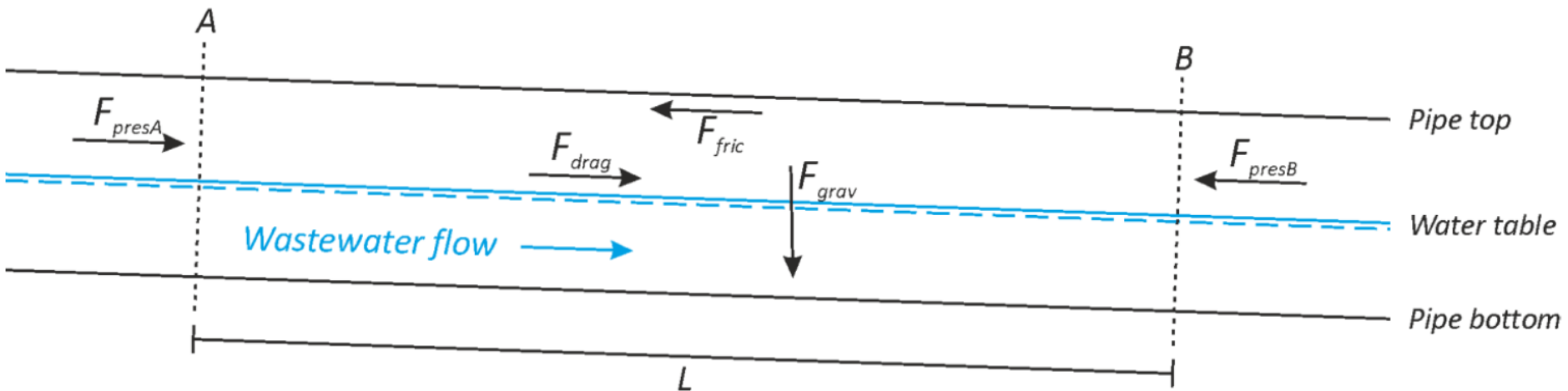


- Årsag?
  - Lav pH inhiberer sandsynligvis bakterierne



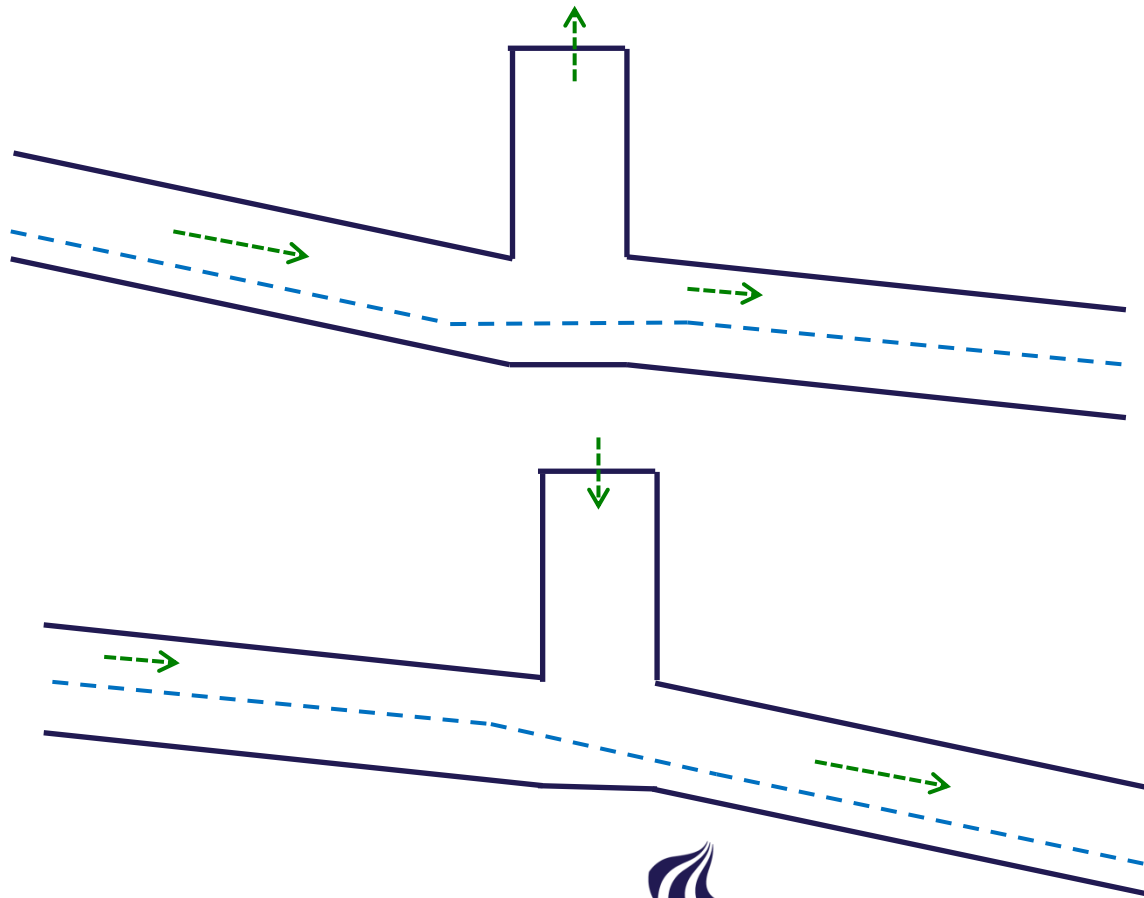
# Ikke glemme ventilation – luften bevæger sig i ledningen

- Årsager
  - Vandet trækker luften med sig
  - Ændringer i atmosfære tryk langs ledningen
  - Ændringer i temperatur langs ledningen
  - Vind hen over åbninger (huller i dæksler, ventilation ved huse, osv)

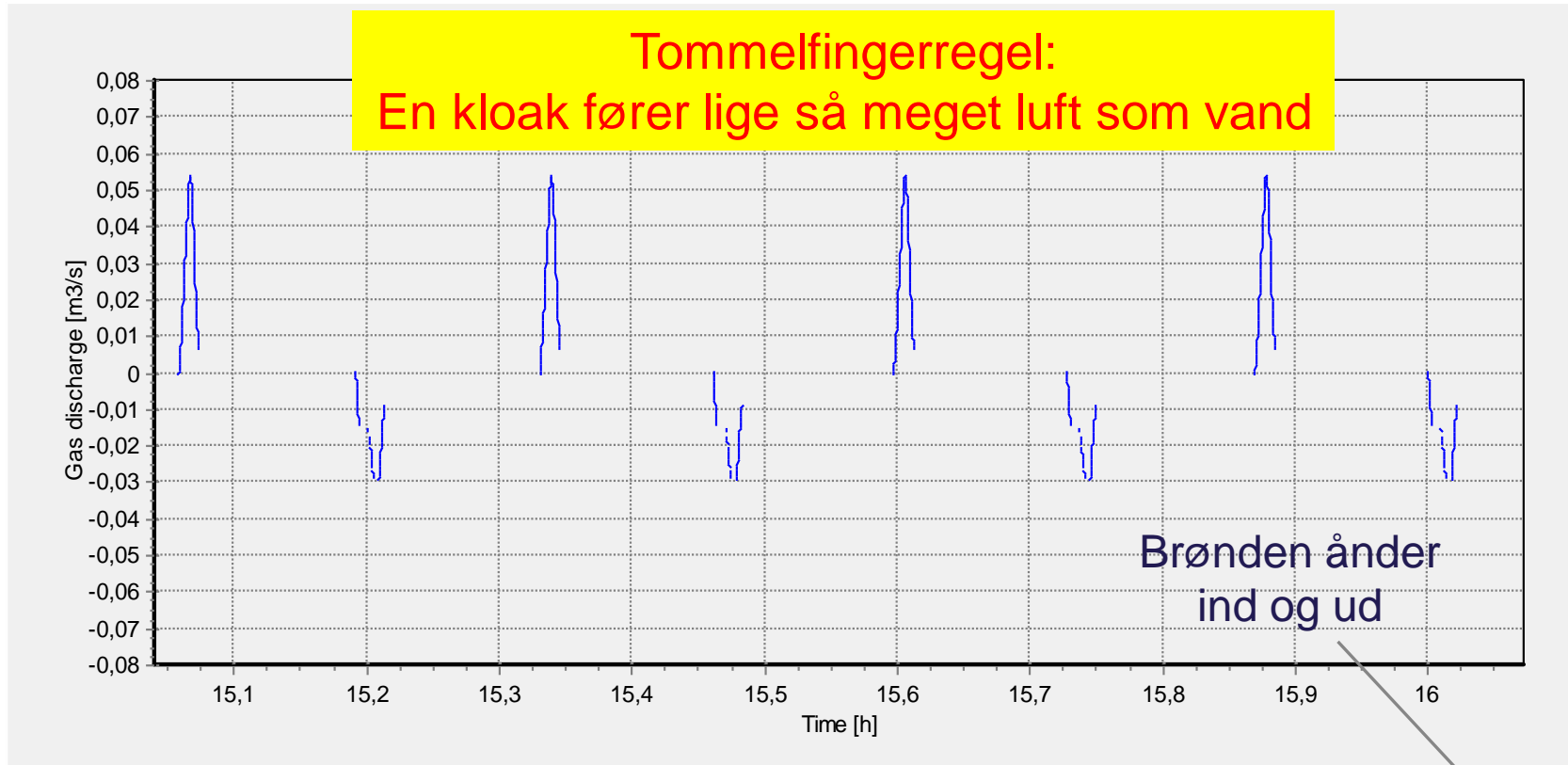


# Luft kastes af og suges ind ved ændring i fald, pumpestationer, sammenløb, osv

Vandet trækker luften med sig – med cirka 5-40% af vandhastigheden



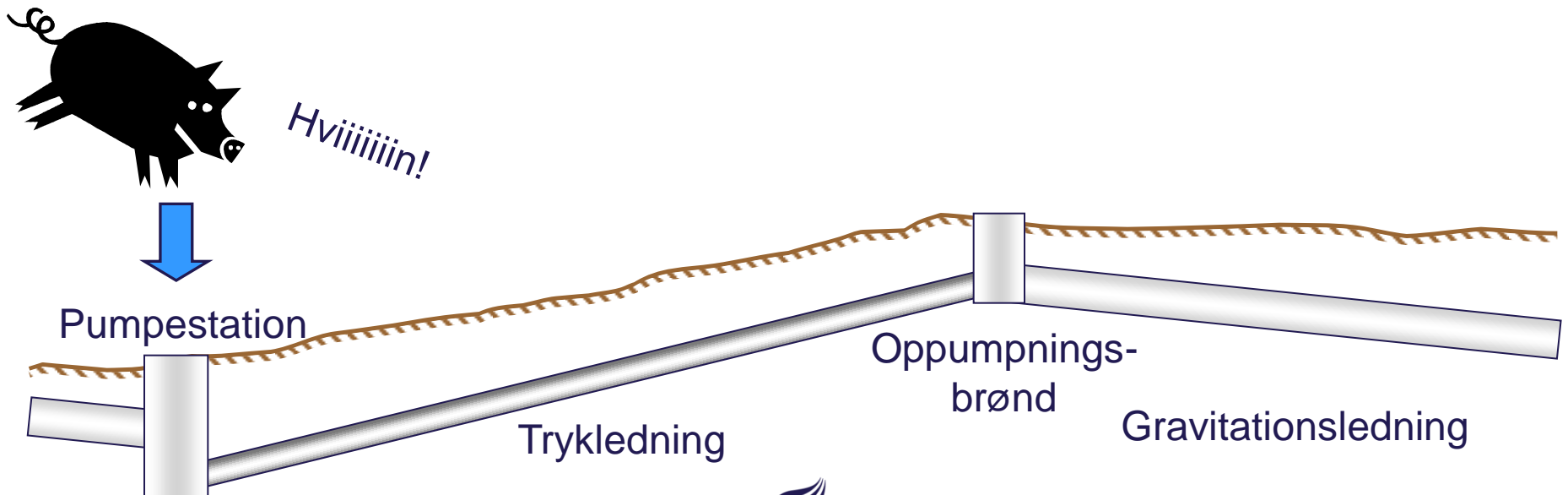
# Ventilation – Kloakken ånder ind og ud



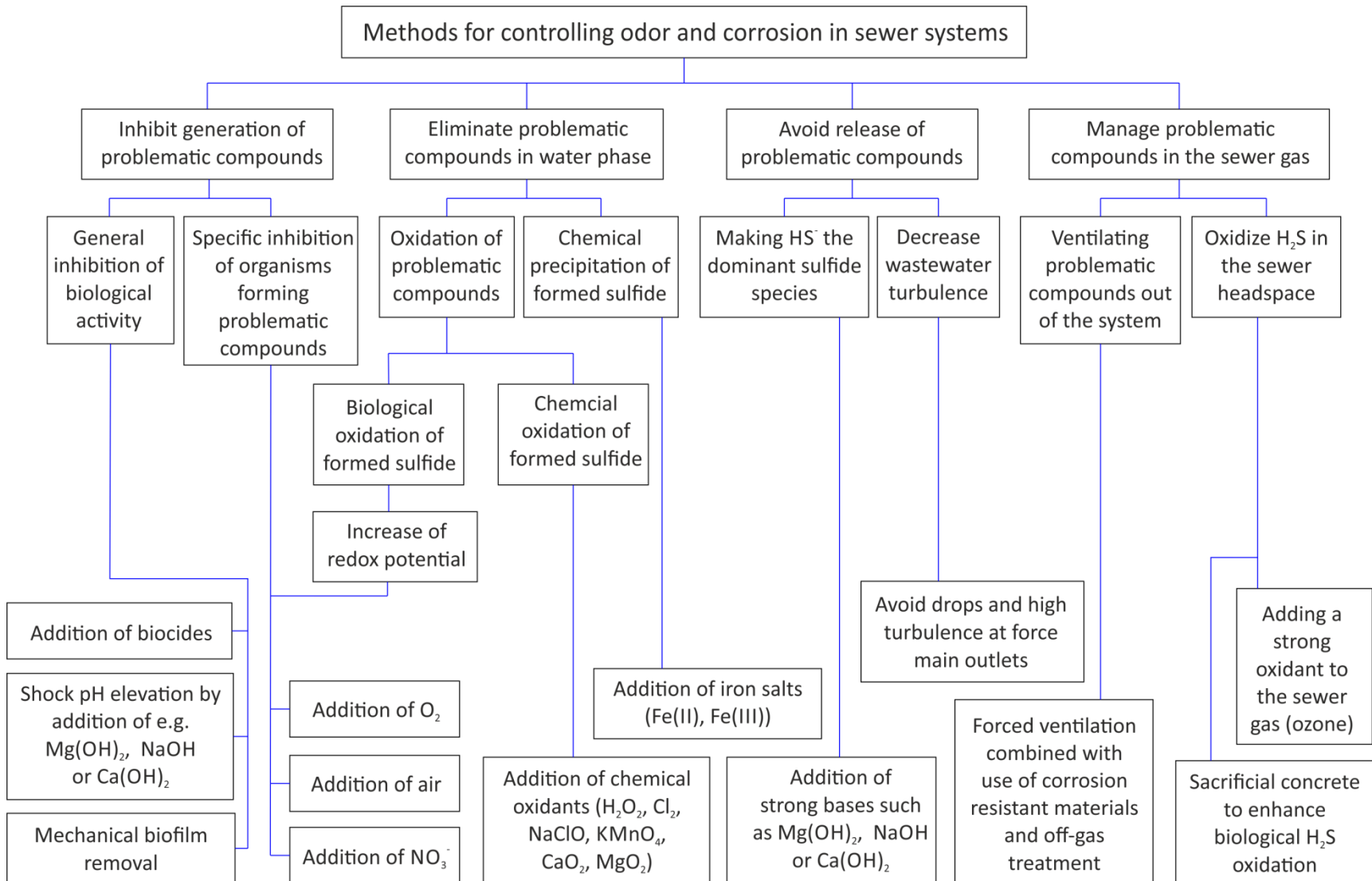
# Bekæmpelse af svovlbrinte

To grundlæggende forskellig tilgange

- Forebyg at svovlbrinte dannes
- Fjern det efter det er blevet dannet



# Bekæmpelsesmetoder

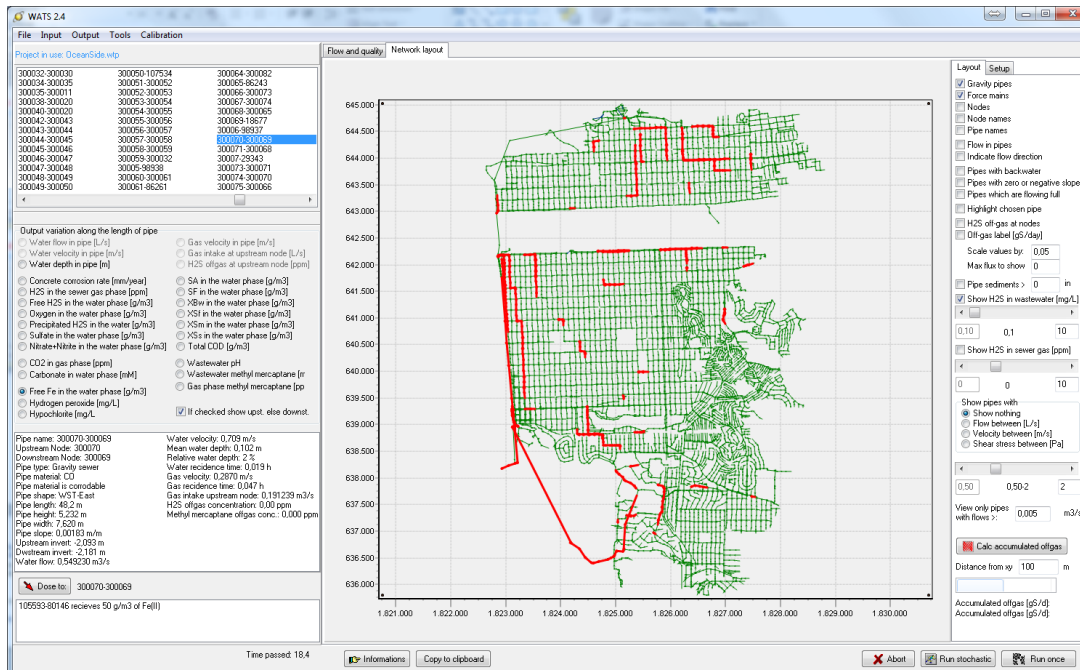


Der er mange mulige metoder – Hvad der bruges afhænger af den konkrete sag



# Svovlbrinte problemer bekæmpes bedst i planlægningsfasen

- Lav en svovlbrinte master plan
- Brug folk der ved noget om kemiske og biologiske processer i kloaksystemer
- Man kommer langt med sund fornuft og en tilbundsgående viden om svovlbrinte
  - Svovlbrinte problemet er desværre ret komplekst
  - Men der er da nogle tommelfinger regler
- Eller modellere systemet med en detaljeret svovlbrinte proces model



## San Francisco westside

Eksempel på simulering en bekæmpelsesstrategi for svovlbrinte

# Således opløftet ....

