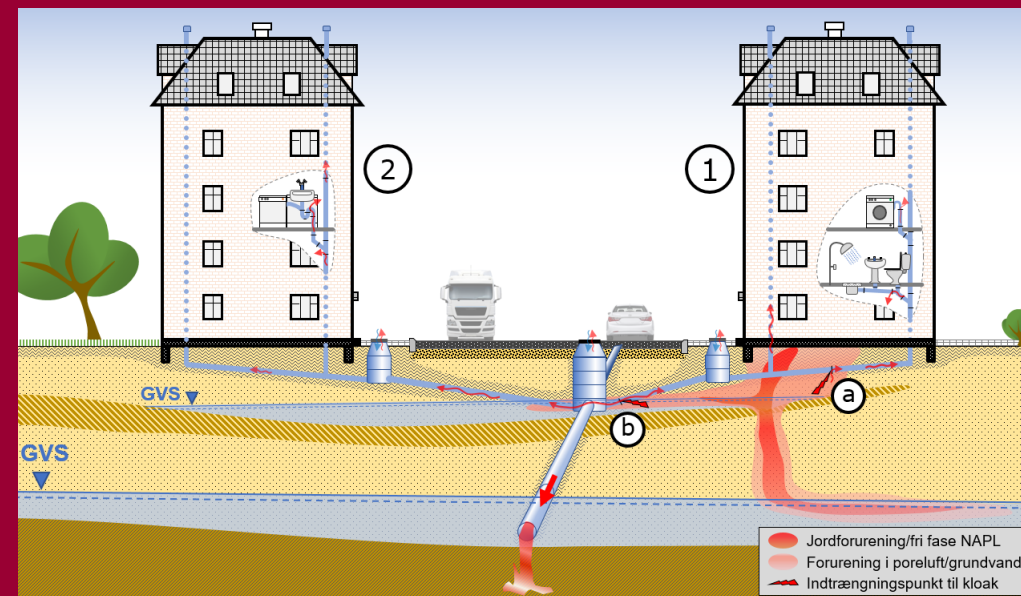




Styrende processer for gastransport i kloaker - resultater af flere års målinger

Winnie Hyldegaard (Kaspar Rüegg), Region Midtjylland
Per Loll, DMR A/S



REGION NORDJYLLAND
- i gode hænder



Region
Hovedstaden

Disposition

- Indtrængning i kloak
- Forureningsmasse i vand og luft
- Transport i vand og luft
- Styrende faktorer i kloakluft

**Måling
hvor og
hvornår**



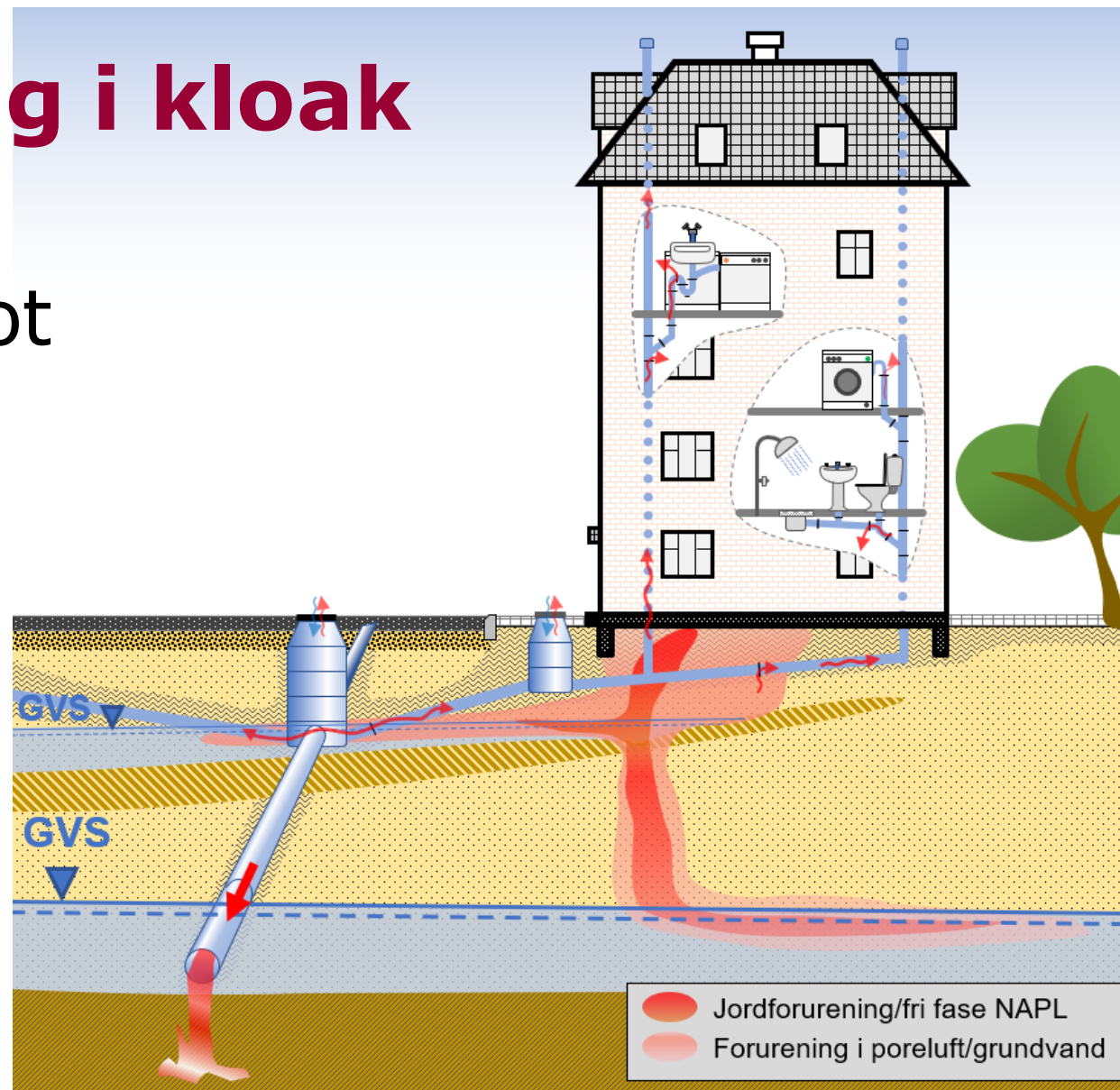
Disposition

- **Indtrængning i kloak**
- **Forureningsmasse i vand og luft**
- Transport i vandfase og luftfase
- Styrende faktorer for indhold i kloakluft

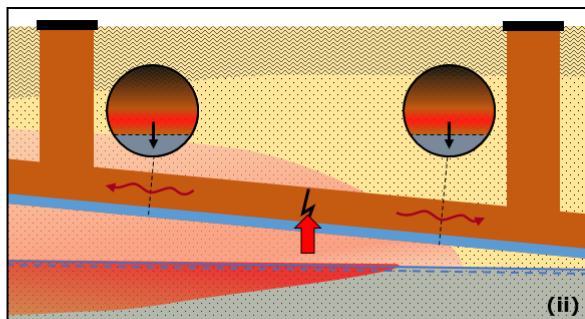


Indtrængning i kloak

- Kloak i hotspot
- Kloak i fane

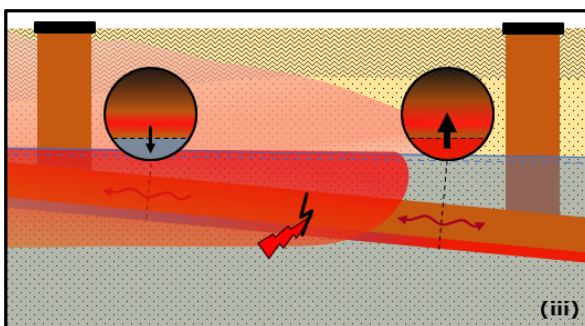


Indtrængning i kloak



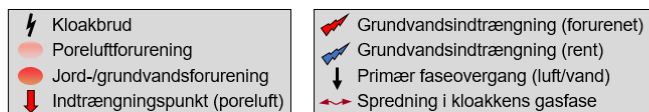
Indtrængning af luft

- Indtrængning af forurenset luft fra fane
- Indtrængning af forurenset luft fra kildeområde



Indtrængning af vand

- Indtrængning af forurenset vand fra fane
- Indtrængning af forurenset vand fra kildeområde



➤ Mest forurening ind i vandfase

Disposition

- Indtrængning i kloak
- Forureningsmasse i vand og luft
- **Transport i vandfase og luftfase**
- Styrende faktorer for indhold i kloakluft

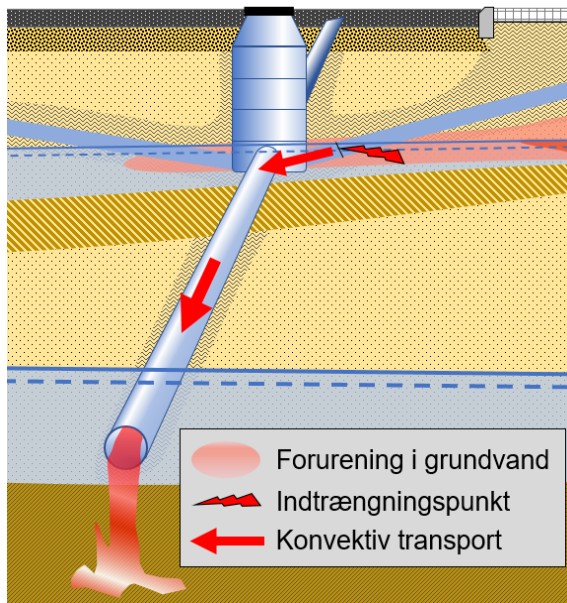


Transport: konvektiv vs. diffusiv

Indledende teoretiske studier har vist:

- I gasfasen er den konvektive transport mere end 3 størrelsesordner (>1.000 gange) større end diffusiv transport
- Diffusionshastigheden er generelt omkring 4 størrelsesordner (~ 10.000 gange) mindre i vandfasen end i luftfasen
 - den konvektive transport er styrende

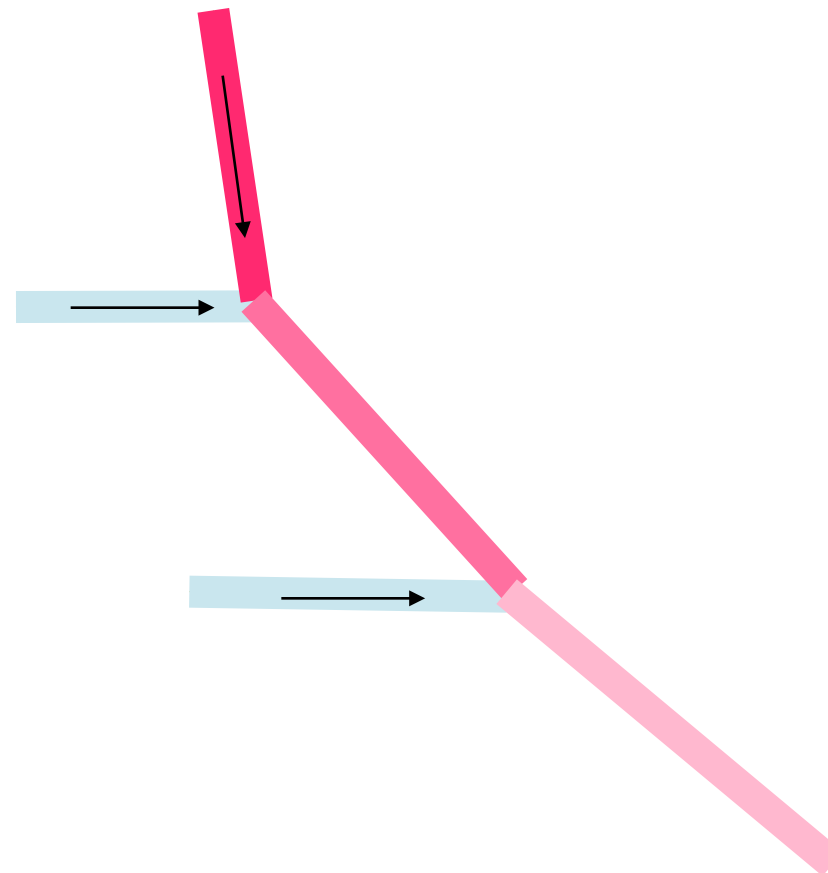
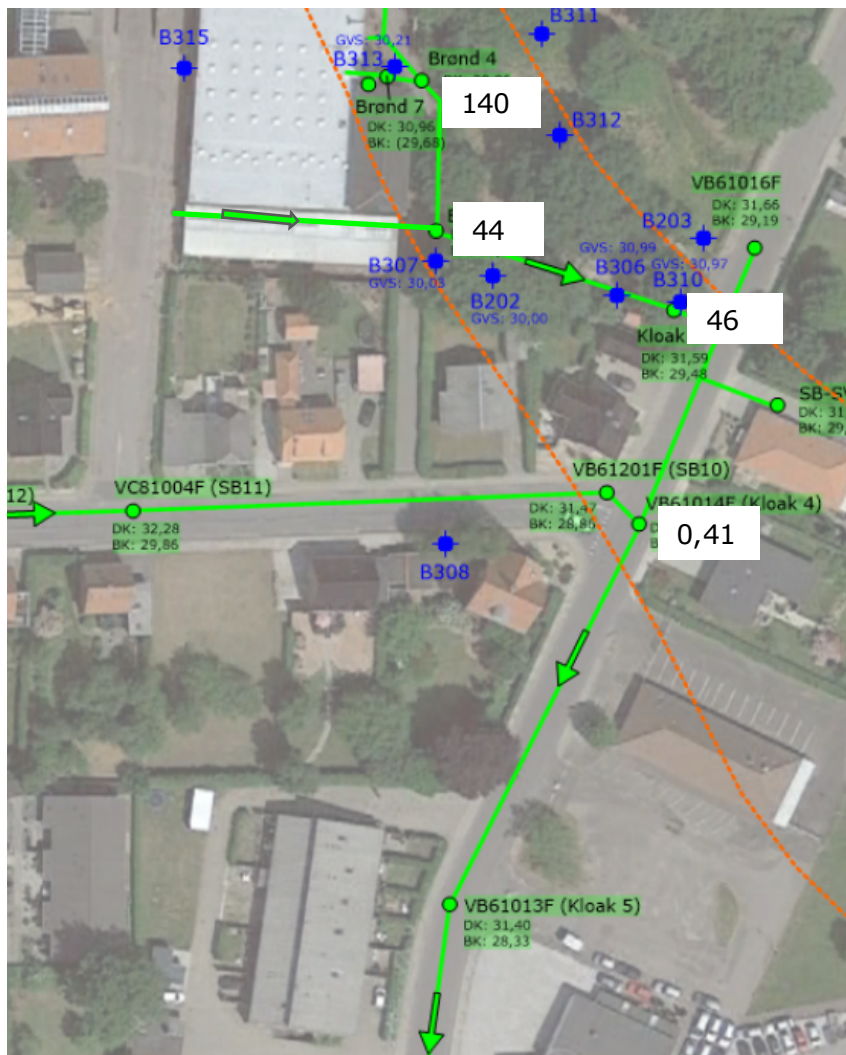
Transport i vandfasen



- Flow 0,5-6 m³/t, afhængig af rørstørrelse og fyldningsgrad, samt hældning
- Fortyndes af "rent" kloakvand
- Der sker konstant afdampning til gasfasen

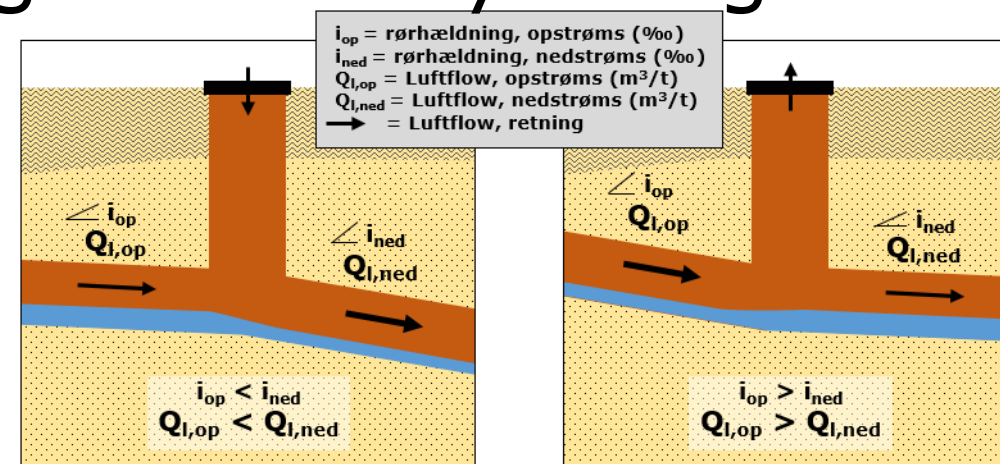
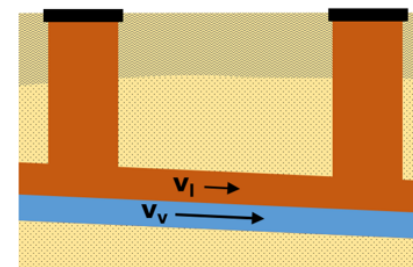
➤ Transport i vandfasen sker nedstrøms

Fortynding i vandfasen



Transport i luftfasen

- Fyldningsgrad og "drag" effekt
- Ændring i kloakhældning og dermed fyldning
- Differenstryk:
 - temperatur (densitet)
 - vind (retning, hastighed)
 - atmosfærisk tryk

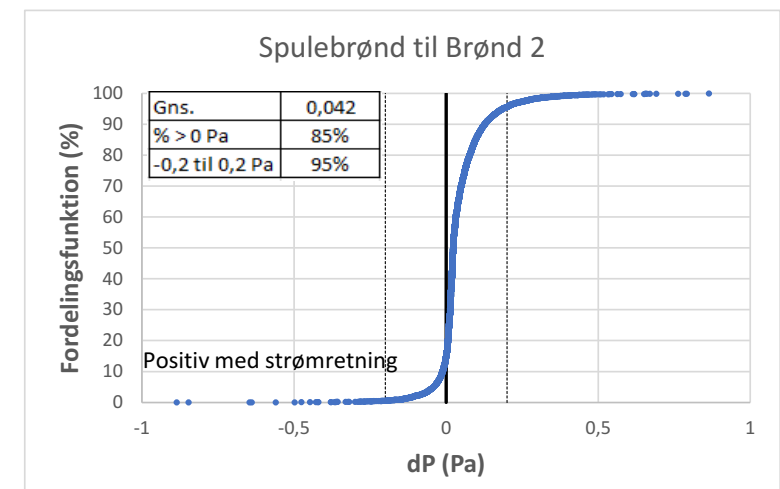
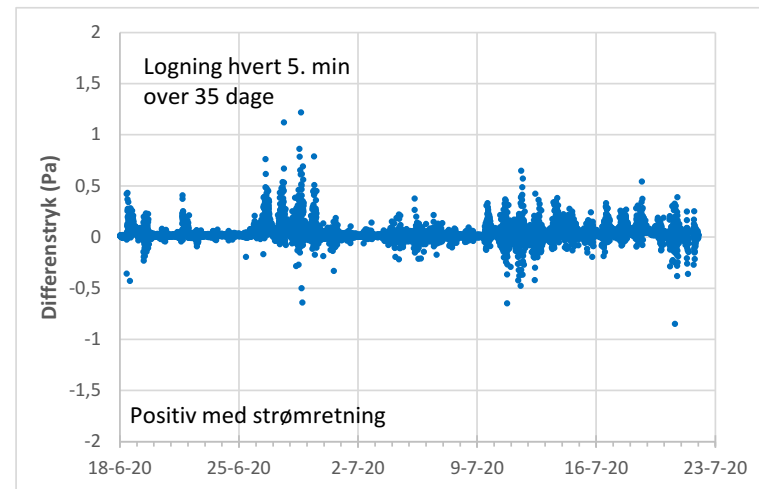
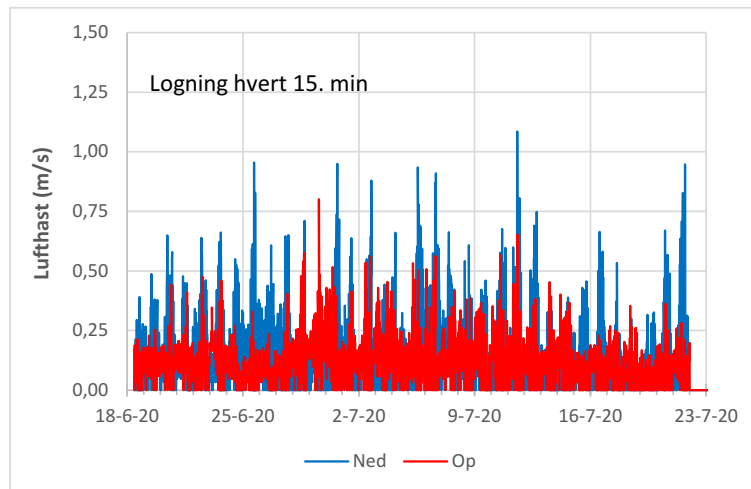
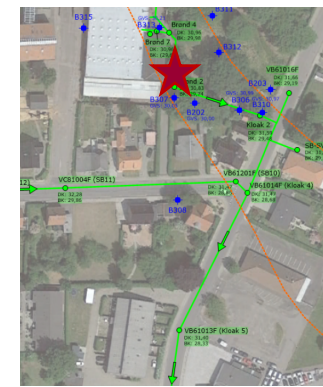


Disposition

- Indtrængning i kloak
- Forureningsmasse i vand og luft
- Transport i vandfase og luftfase
- **Styrende faktorer for indhold i kloakluft**

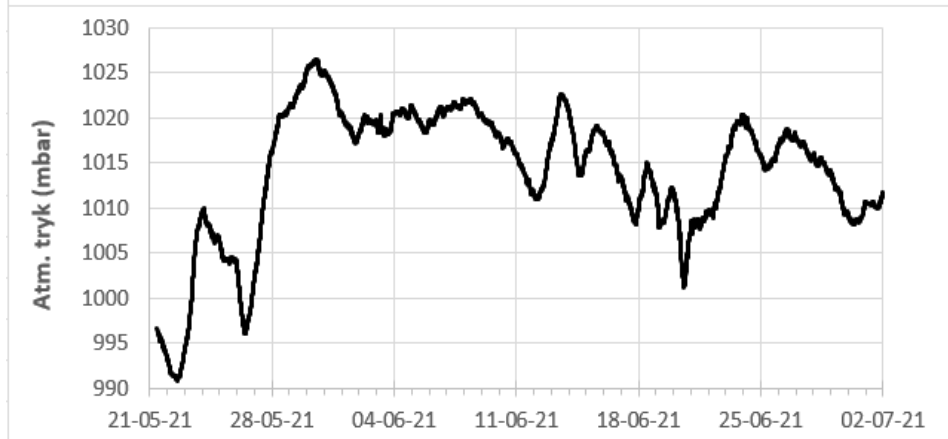
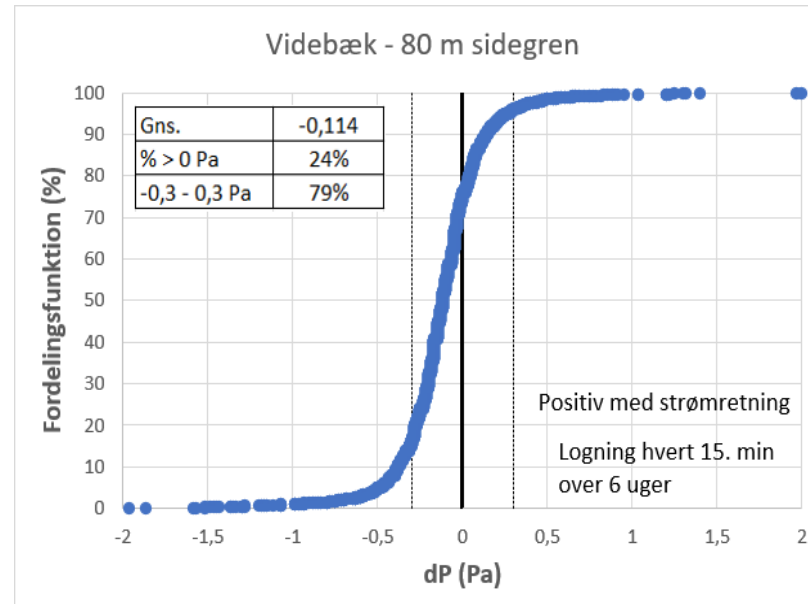
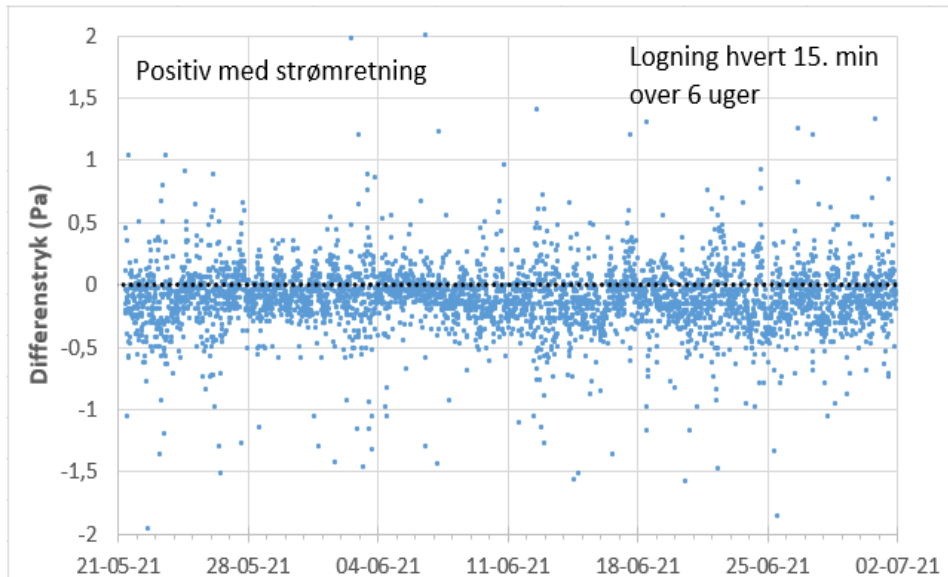
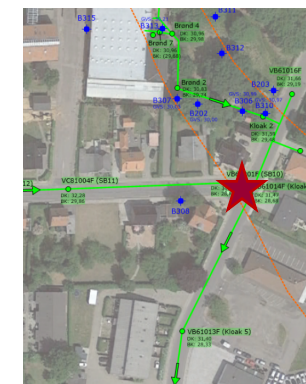


Differenstryk og lufthastighed



- Både pulserende differenstryk og hastighed = ikke et konstant drivtryk!
- Størrelsesordenen -0,2 til +0,2 Pa
- Overvejende positiv differenstryk = konvektiv transport nedstrøms

Differenstryk og atmosfærisk tryk

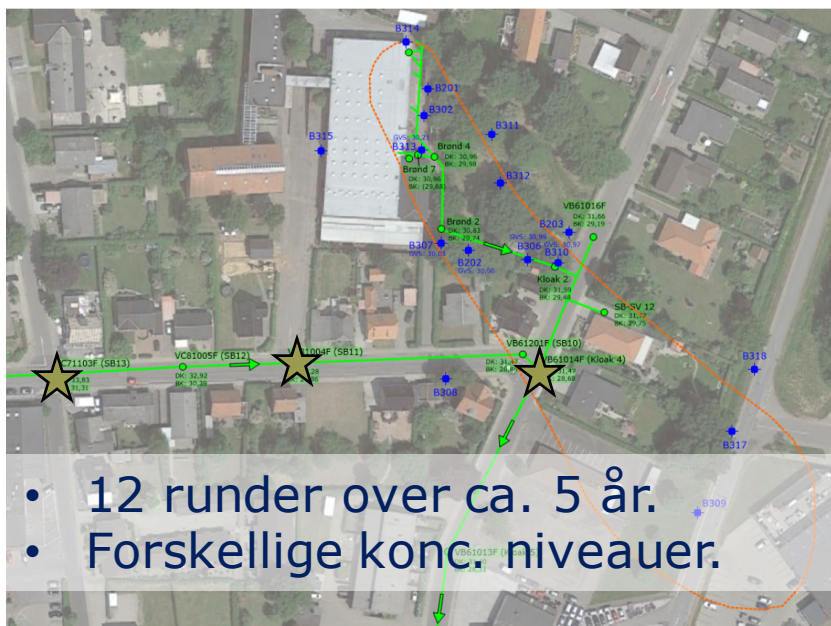


- Både pulserende differenstryk – ikke sammenhæng med atmosfærisk tryk
- Størrelsesorden -0,3 til +0,3 Pa
- Overvejende negativ differenstryk = konvektiv transport opstrøms

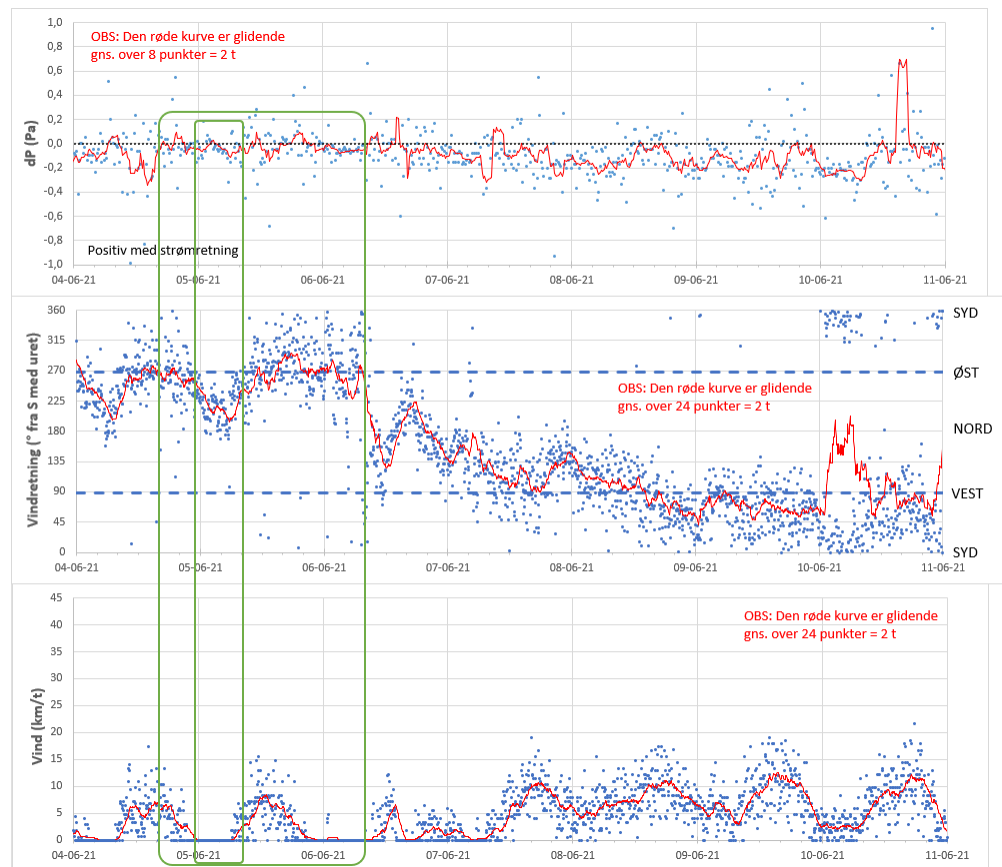
Videbæk – sidegren: Lufttransport opstrøms i kloak

- Betydende gastransport >170 meter!
- Halveringsafstand ~70-100 meter!

TCE, ORSA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									PFT-studium		
Nov'16	Maj'17	Dec'18	Juni'20	Okt'20	Dec'20	Apr'21	Maj'21	Sep'21	04-06-2021	18-06-2021	30-06-2021
13	10	2,4	74	10	17	17	88	3,2	-	-	-
8,7	11	1,7	65	-	-	-	-	-	22	83	14
7,9	6,4	2,3	39	5,7	14	12	31	1,3	8,4	43	5,5
4,4	0,81	2,1	32	-	-	-	-	-	-	-	-
<0,2	1,4	1,7	18	3,3	10	12	13	1,2	-	-	-
									PFTa	PFTb	PFTc



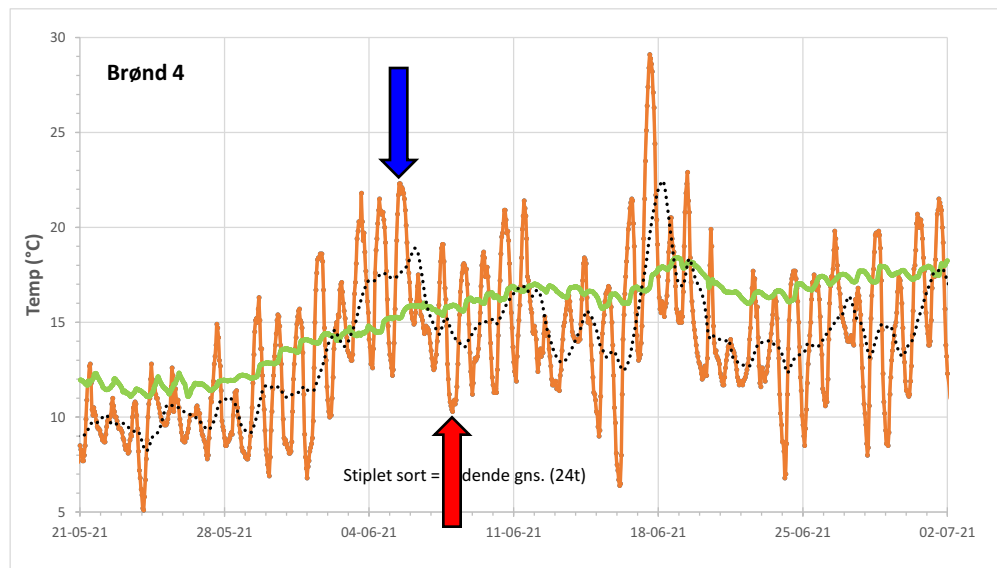
Differenstryk og vind



Ikke direkte sammenhæng mellem vindhastighed og differenstryk
- der er tegn på at vindretningen kan påvirke differenstrykket

Temperatur (luftens densitet)

Dag og nat



Sommer (dag = koldere i brønd)

Atm. 22°C og 50%RH: $\rho = 1,190 \text{ kg/m}^3$

Brønd 16°C og 100%RH: $\rho = 1,212 \text{ kg/m}^3$

Sommer (nat = varmere i brønd)

Atm. 10°C og 95%RH: $\rho = 1,241 \text{ kg/m}^3$

Brønd 16°C og 100%RH: $\rho = 1,212 \text{ kg/m}^3$

- Om natten kan den kolde luft på overfladen synke ned i brønden, hvor den bliver varmet op og udvider sig - det medfører en transport af luft i kloakken.

Konklusioner

- Forholdene i kloak og transport af forurening er meget dynamiske og afhænger af mange parametre



Konklusioner

- Størst belastning ved indtrængning af forurenede grundvand
- Transport i vandfase sker nedstrøms
- Transport i luftfasen er mere kompleks og kan være både opstrøms og nedstrøms
- Transport i luftfasen er primært drevet af differenstryk
- Den vigtigste og mest konstante drivkraft for lufttransport er dog sandsynligvis densitets- og dermed temperaturdrevet

Hvor og hvornår måler vi så?

Hvor:

- Ved kilden (indtrængningspunktet)
- Både opstrøms og nedstrøms fra indtrængningspunktet

Hvornår:

- I perioder med højt vandspejl
- I perioder hvor temperaturen på overfladen er koldere end i kloakken (langtidsmåling) eller om natten (korttidsmåling)
- I perioder uden for megen blæst

**Måling
hvor og
hvornår**

Hvor og hvornår måler vi så?

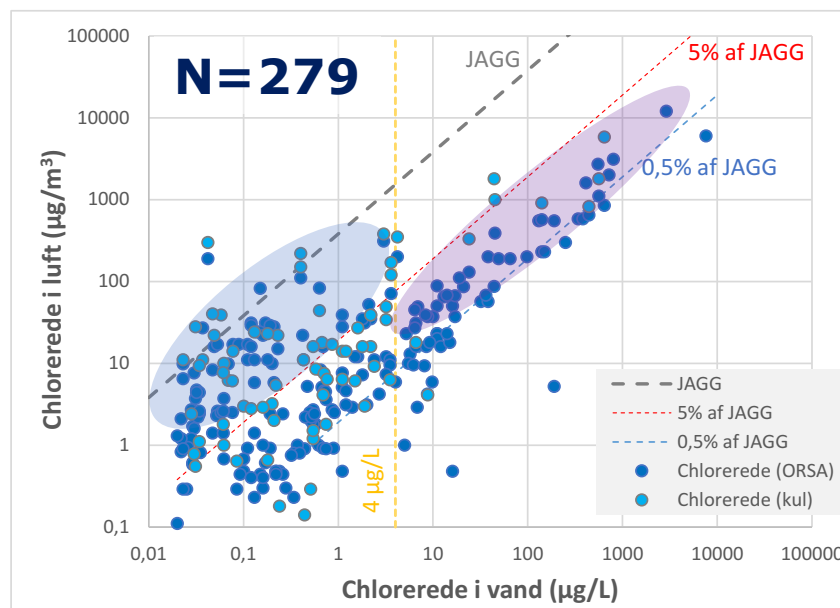
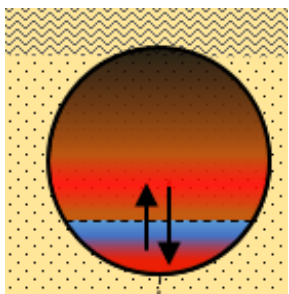
Desuden kan være en god ide yderligere at måle:

- ved ekstreme vejr situationer
- over længere perioder f.eks. temperatur i kloak, vejrdato og GVS-niveau

Målingerne kan evt. bruges til at estimere hvor meget af tiden en "worst case" situation er til stede...

Tak for opmærksomheden

Indflux vand vs. luft: forureningsmassen i luft- og vandfasen



- ca. 2 størrelsesordner til forskel
- dvs. massen er 100 gange større i vand