

PLUMESTOP

INJEKTIONSTEKNIK OG

DOKUMENTATION

Lars Bennedsen

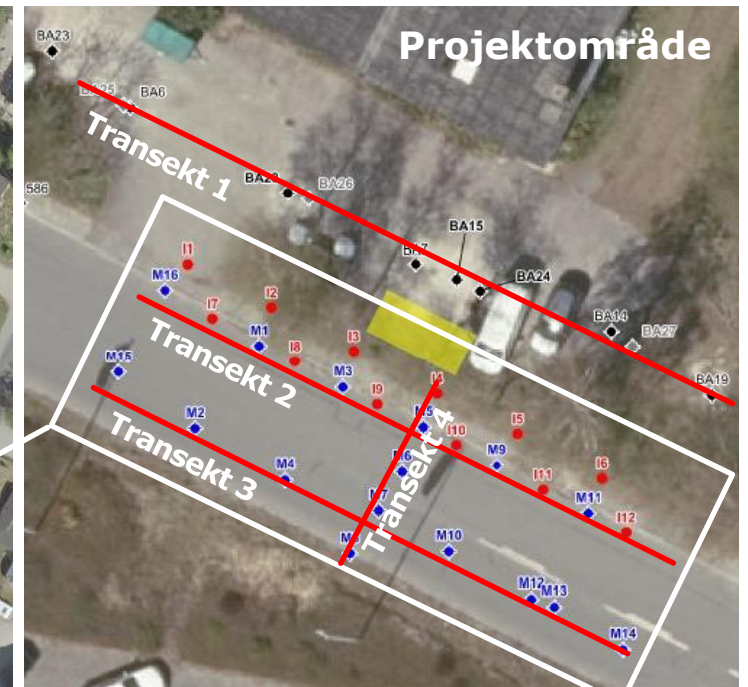
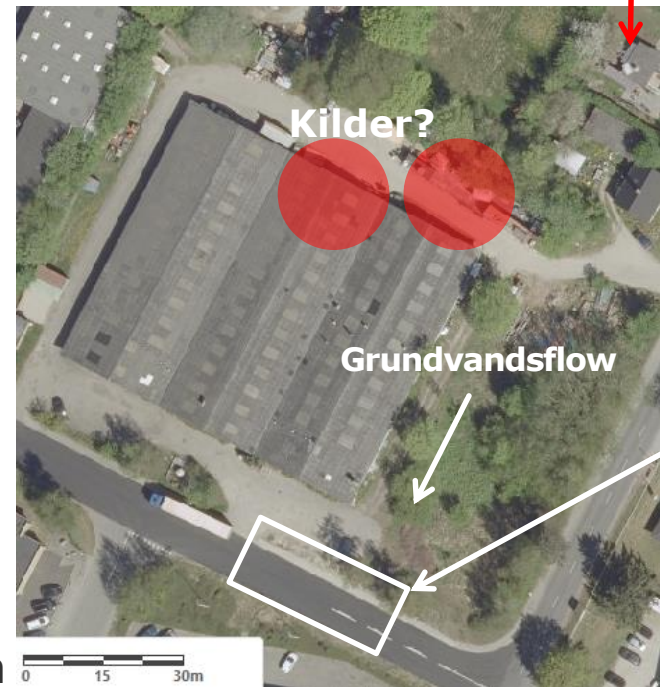
PROJEKTHOLD

- Dorte Harrekilde, Majken Frederiksen, Lars Bennedsen
- Gareth Leonard, Jeremy Birnstingl, Kristen Thoreson
- Mette Broholm, Cecilie Ottosen, Annika Sidelmann
Fjordbøge, Poul L. Bjerg
- Nina Tuxen, Ida Damgård



BAGGRUND OG LOKALITET

- Region Hovedstaden udbyder et udviklingsprojekt om afværgelse af forureningsfaner i grundvand (marts 2017)
- Forslag om test af PlumeStop kombineret med SRD som en afskærende barriere-løsning
- Screening af mulige lokaliteter
- Industrivej, Lyngesø
 - Industri siden 1960'erne
 - God case med fane uden påvist kilde
 - Mange eksisterende boringer og viden



BASELINEMONITERING – TRANSEKT 1 (OPSTRØMS)

Geologi:

12 m moræneler
underlejret af homogent
fint smeltevandssand
(primært magasin)

Hydraulisk ledningsevne:

10^{-5} til 10^{-4} m/s

Strømningshastighed:

Typisk 5-20 m/år

Forurening:

TCE dominerende

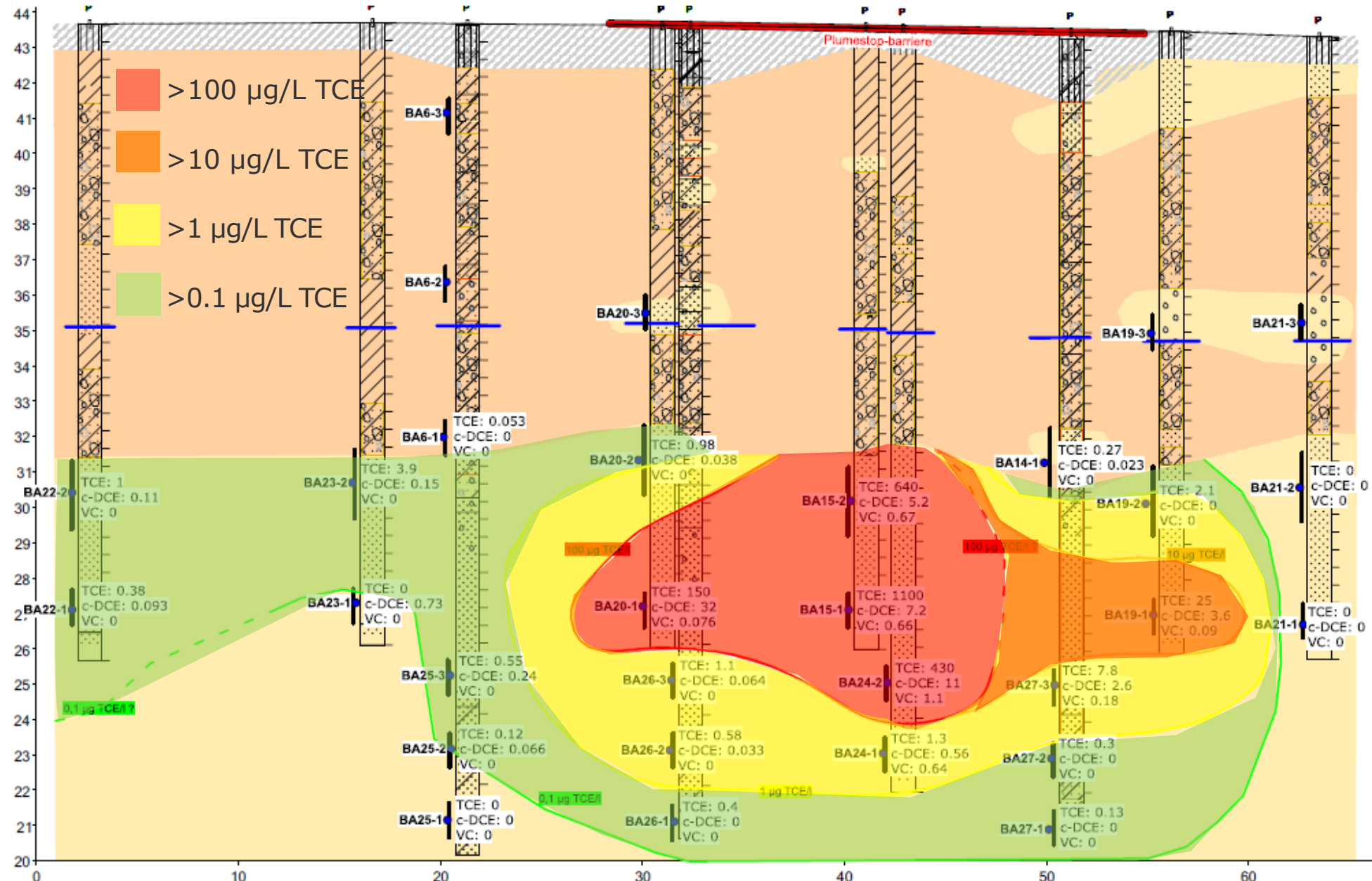
Op til 1.100 µg TCE/l

Flux: ~150 g TCE/år

Redox:

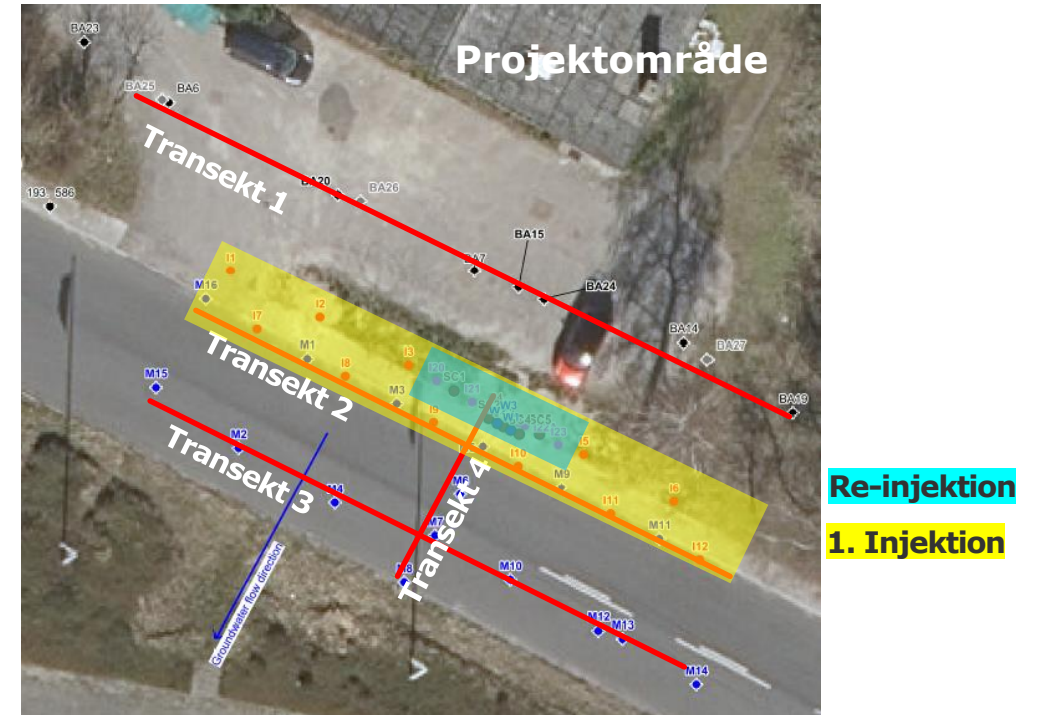
Jern/sulfat reducerende

RAMBOLL



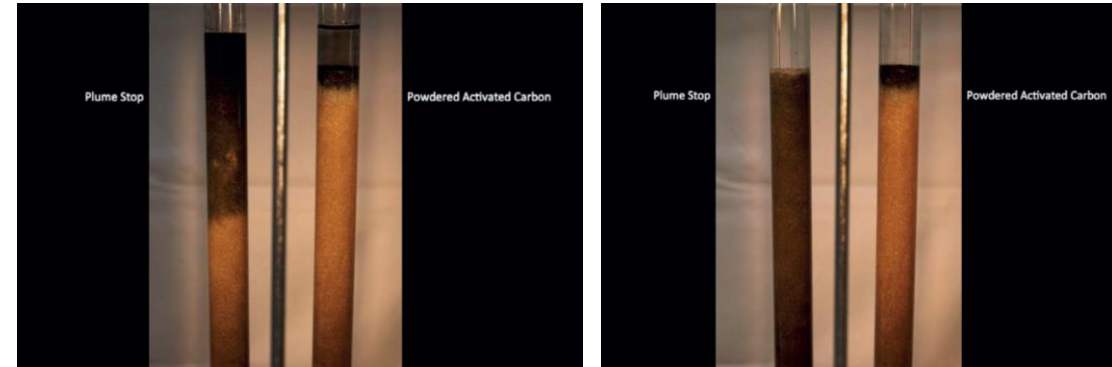
FORMÅL

- Teste og dokumentere PlumeStop™ kombineret med SRD som en barriereløsning til afværge overfor klorerede opløsningsmidler
 - Fordeling af de injicerede reagenser (fokus i dag)
 - Overordnet effekt af sorption og nedbrydning



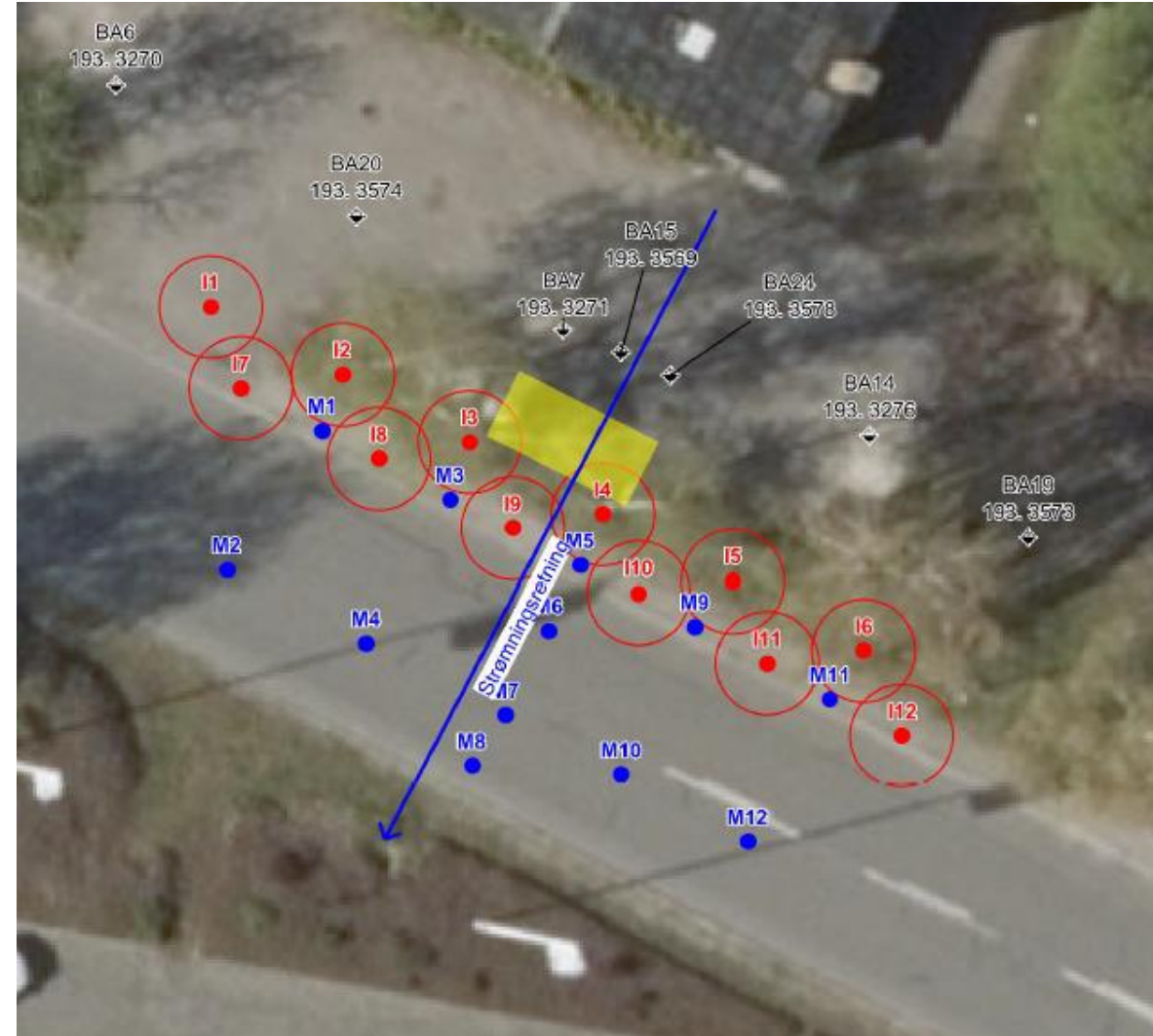
METODE

- PlumeStop™
 - Aktivt kul, 1-2 µm, kolloid suspension
- HRC
 - Langsomtfrigivende elektrondonor
 - HRC primer (uger), HRC (3 år) og HRC-X (5år)
- BDI+
 - Bakteriekultur med *Dehalococcoides* (DHC)



INJEKTION - NOV 2017

- 12 injektionspunkter (I1-I12)
 - 2,5 m mellem punkter
- Design
 - Bredde: 30 m
 - Dybde: 9 m
 - Strømning: maks 20 m/år
 - Injiceret volumen: 450 liter/m
 - Injektionsporøsitet: 6-8%
 - ROI: 1,3-1,5 m (perfekt cylinder)



INJEKTIONSTEKNIK

- Spin injector
 - Skrues i (som en proptrækker)
 - Kontinuerlig injektion
 - Kontinuerlig logning
- Spids brækker 8 m nede i moræneleren
- Efter forboring gennem 12 m ler: Delvis injektion 12-16 m u.t., men injektionsspids tilstoppes og kan ikke nå dybere
- Metode opgives efter 3 dage



INJEKTIONSTEKNIK

- Filtersatte boringer
 - Kendt teknik
 - Risiko for spredning i gruskastning
- 9 m filter (12-21 m u.t.)
- 1m dobbelt-packer
- Top-down: PlumeStop
- Bottom-up: HRC og BDI+
- Injiceret uden modtryk
- Alt forløb godt, men hvordan dokumenteres spredningen?



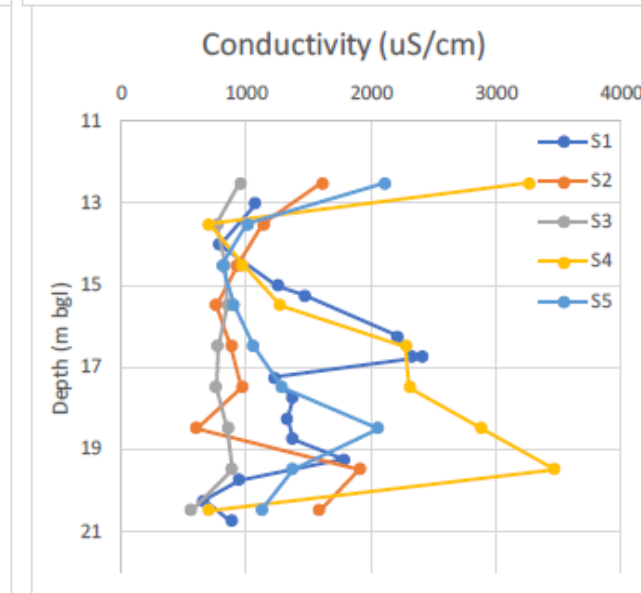
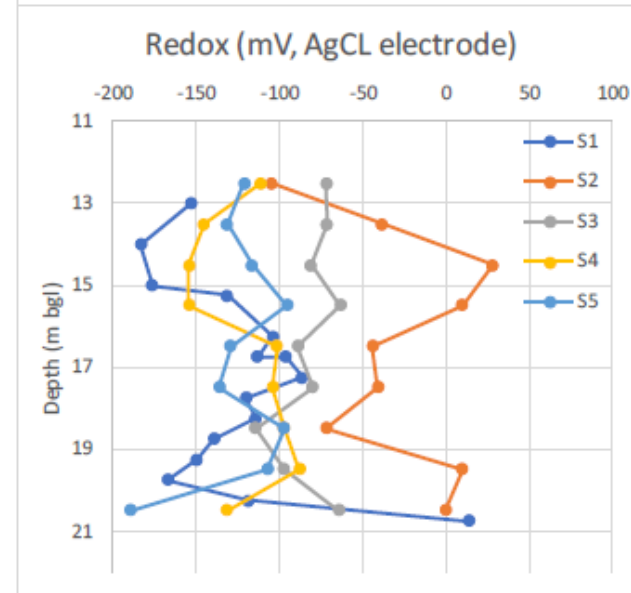
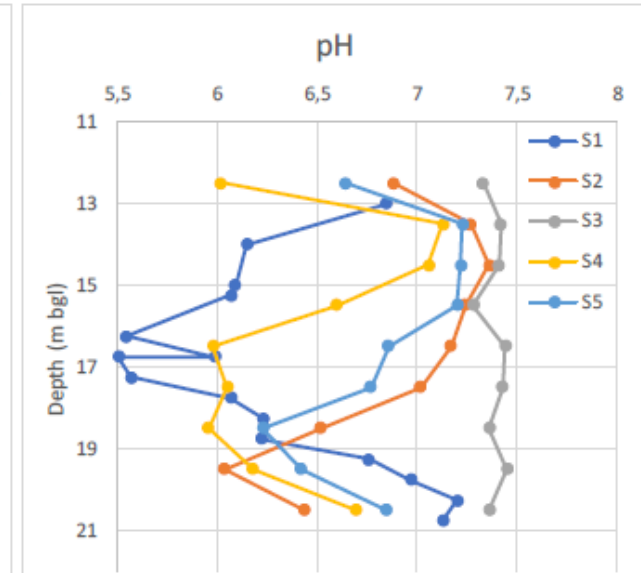
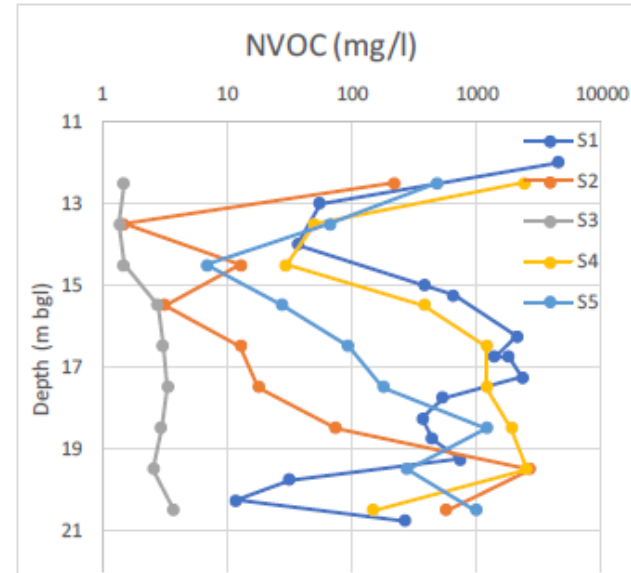
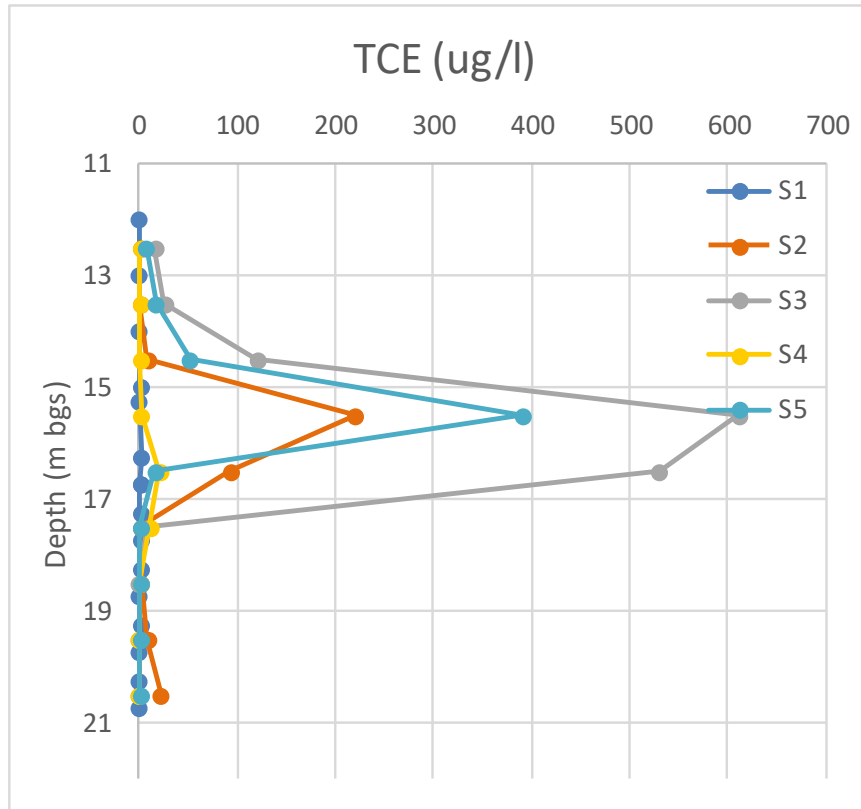
DOKUMENTATION AF SPREDNING

- Vandprøver (monitering over mere end 1 år)
 - Monitoringsfiltre (M1-M16) samt niveauspecifikke prøver (S1-S5)
 - Feltparametre, klorerede ethener, boringskontrol, VFA, CSIA, bakterier (QuantArray)
 - Viser ok fordeling af donor
 - Kun få steder med sort vand og tydelig sorption (3 filtre i M1 og et filter i M5)



DOKUMENTATION AF SPREDNING

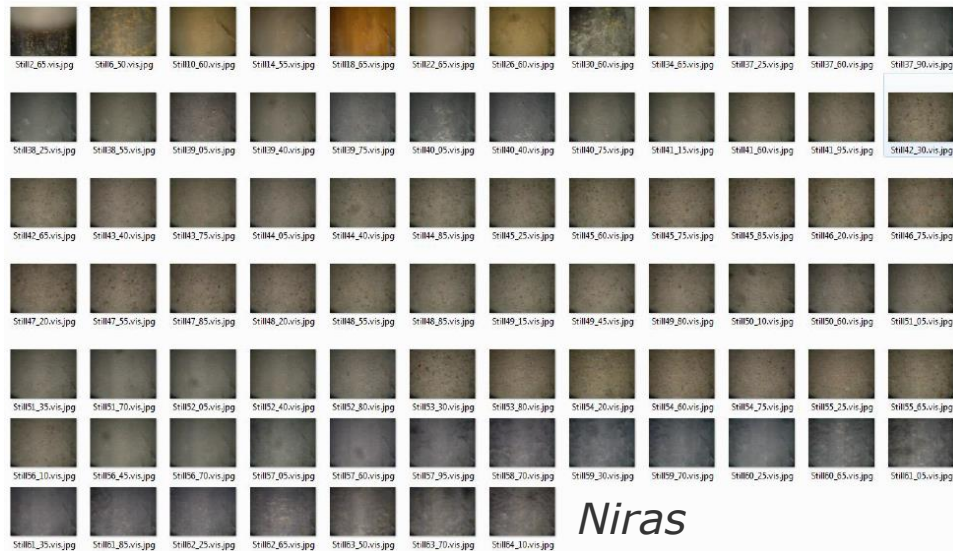
- Niveauspecifikke vandprøver
 - S3 (grå) = opstrøms
 - Øvrige = i barrieren



DOKUMENTATION AF SPREDNING

- Geoprobe – OIP-UV/VIS (60 m)

- Måske set 12 m u.t.
- Ikke mulig at skelne fra baggrund



- Jord

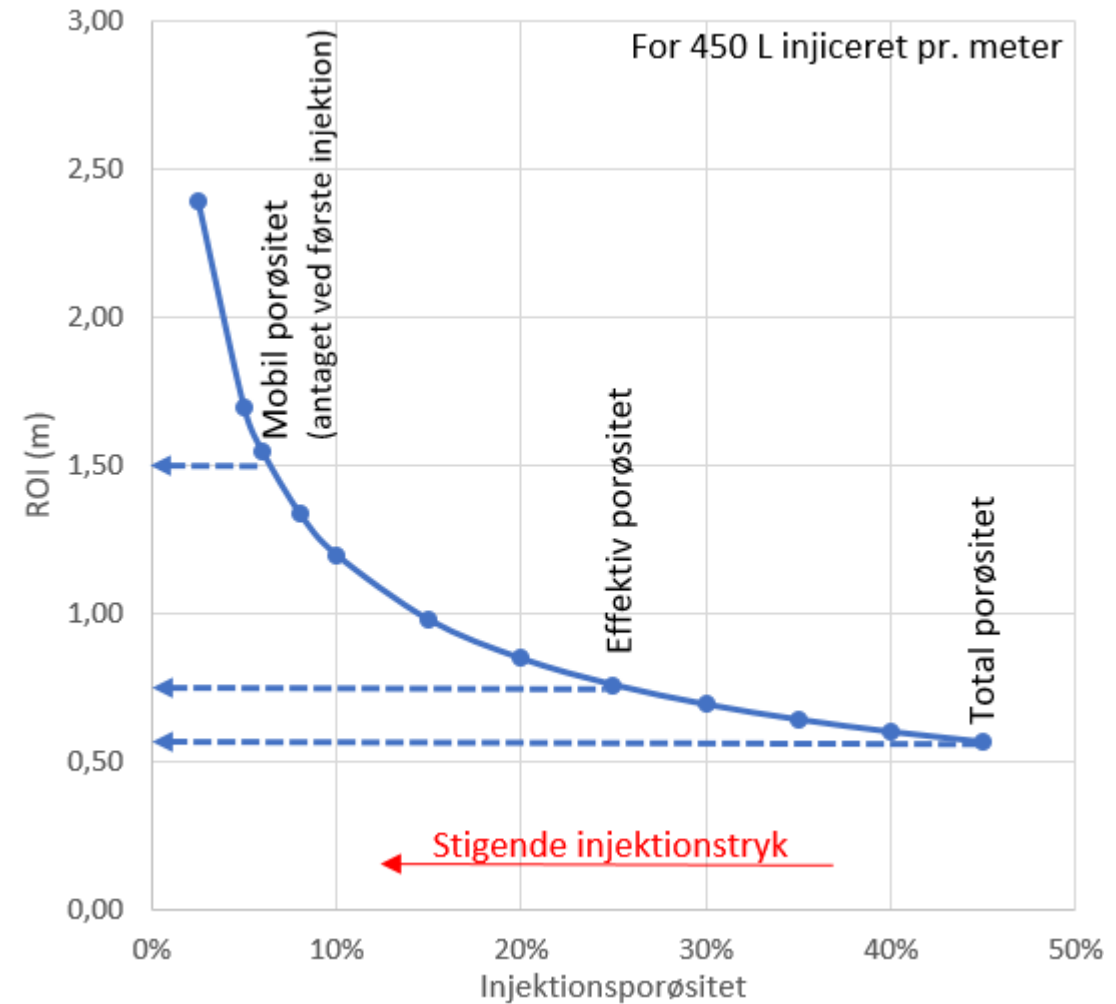
- TOC – Lave bidrag ikke muligt at skelne fra baggrund

- Øvrige metoder

- Borehulslog
- TV-inspektion
- Principal component analyse (PCA)

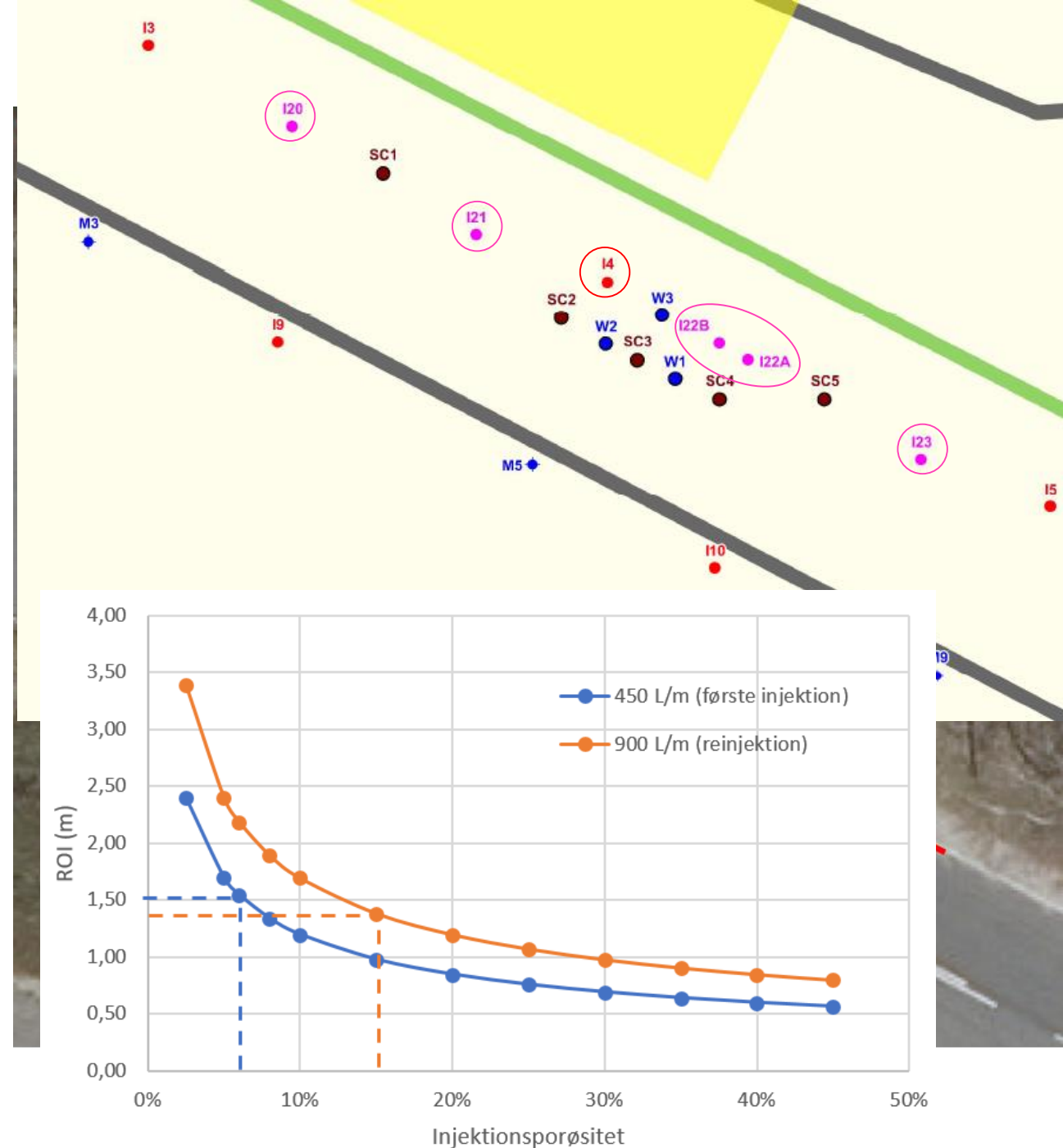
RESULTAT - FØRSTE INJEKTION

- Monitoring viste, at PlumeStop ikke var fordelt som planlagt
- Porehalse for små til spredning af PlumeStop?
 - 41 kornstørrelsesfordelinger viser, at kun ca. 2% af porehalse er under 3 μm (Thomas Larsen, Orbicon). PlumeStop er 1-2 μm . Ikke problematisk.
- Sandsynlig årsag:
 - Ændring af metode fra Spin injector med tryk til injektion i faste filtre uden modtryk medført en opfyldning af en større andel af porøsiteten og dermed reduceret ROI.

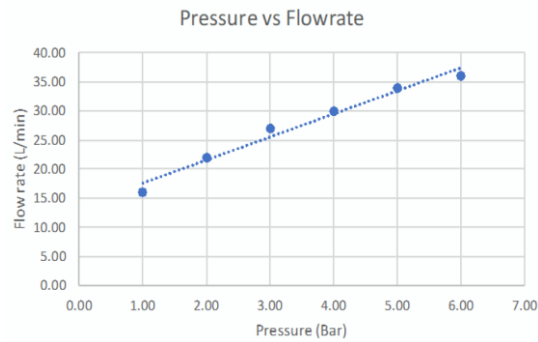


REINJEKTION, JUNI 2019

- 4 nye injektionspunkter med direct push (I20-I23) kombineret med tidligere boring I4
- Strategi for større ROI
 - Mindre afstand mellem injektionspunkter (1,7m)
 - Højere injektionstryk
 - Større volumen
- Design
 - Injiceret PlumeStop volumen: 900 liter/m
 - Injektionsporøsitet: antaget 10-20%
 - ROI: 1,2-1,7 m (perfekt cylinder)
 - +Næringsstoffer



REINJEKTION



- Boring I4 (1,7m dobbelt-packer)
 - Injektionstest udført med rent vand
 - Design 5-6 bar 20-30 l/min
 - Udført 4,5-6,5 bar 28-33 L/min
- Direct push (0,6m geoprobe filter)
 - Design 2,5 bar 20-30 L/min
 - I20 4-6 bar 10-24 L/min
 - I21 1,5-4 bar 7-27 L/min
 - I22 1,5-4,5 bar 10-24 L/min
 - I23 1,5-4,5 bar 21-30 L/min
- Daylighting ved I21



DOKUMENTATION AF SPREDNING (REINJEKTION)

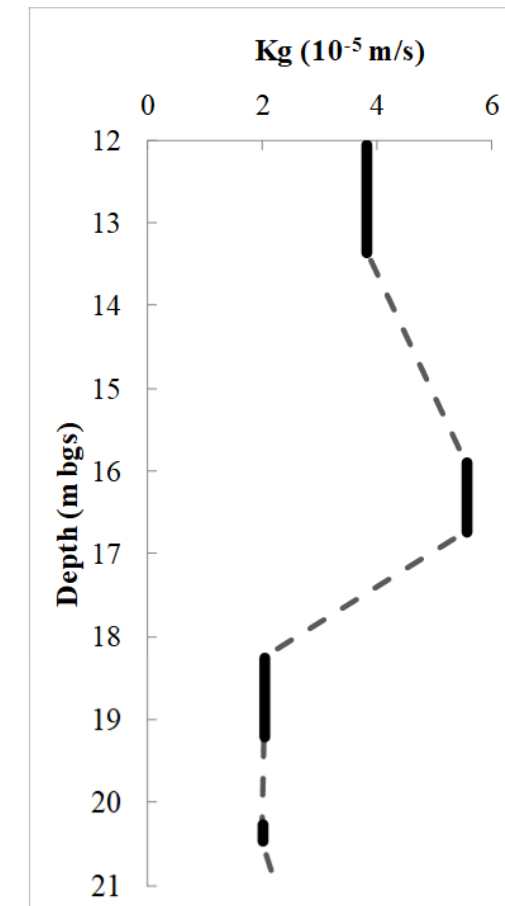
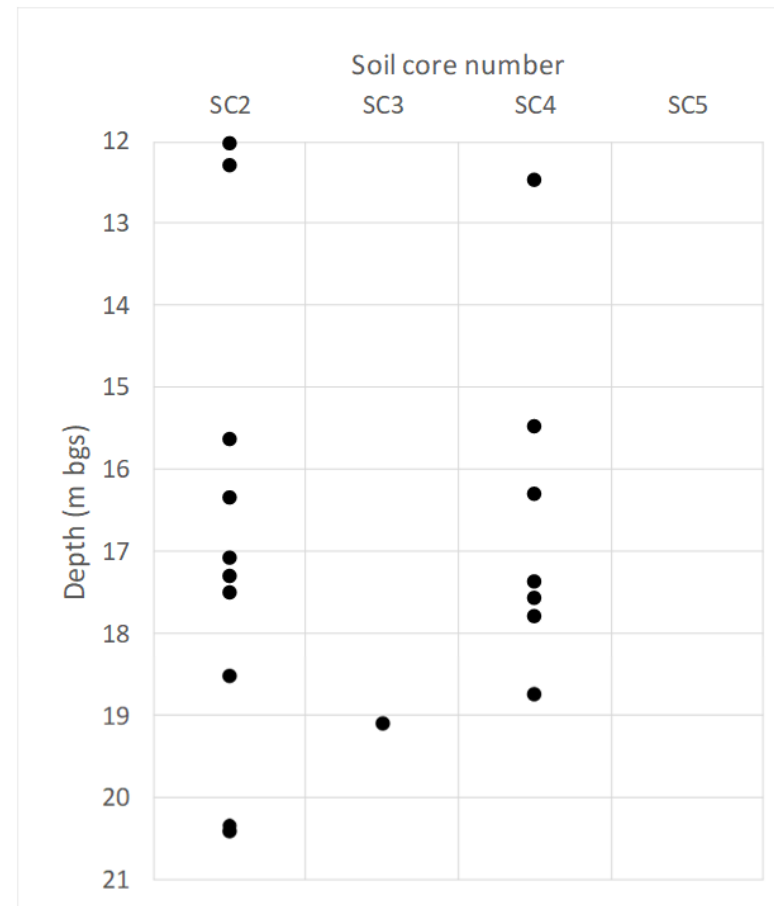
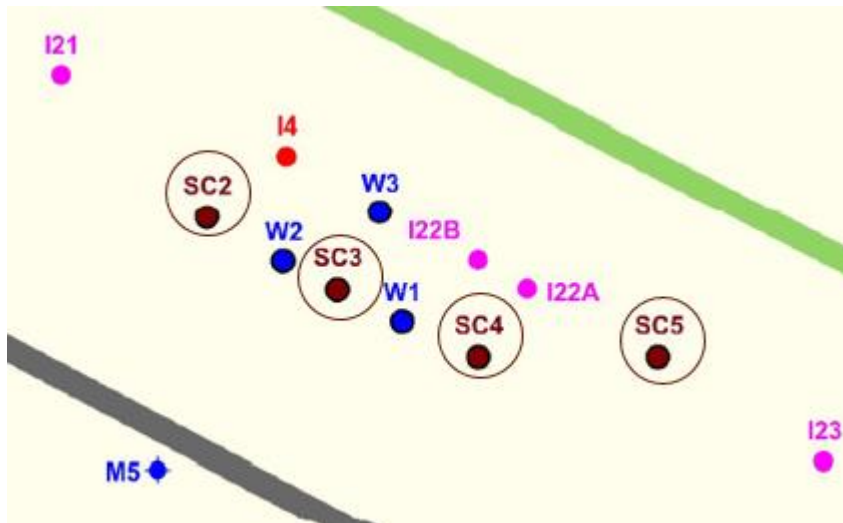
- Vandprøver
 - Som tidligere (moniteringsfiltre og niveauspecifikke)
- Jordkerner
 - Visuel
 - Soprtionstest



JORDKERNER

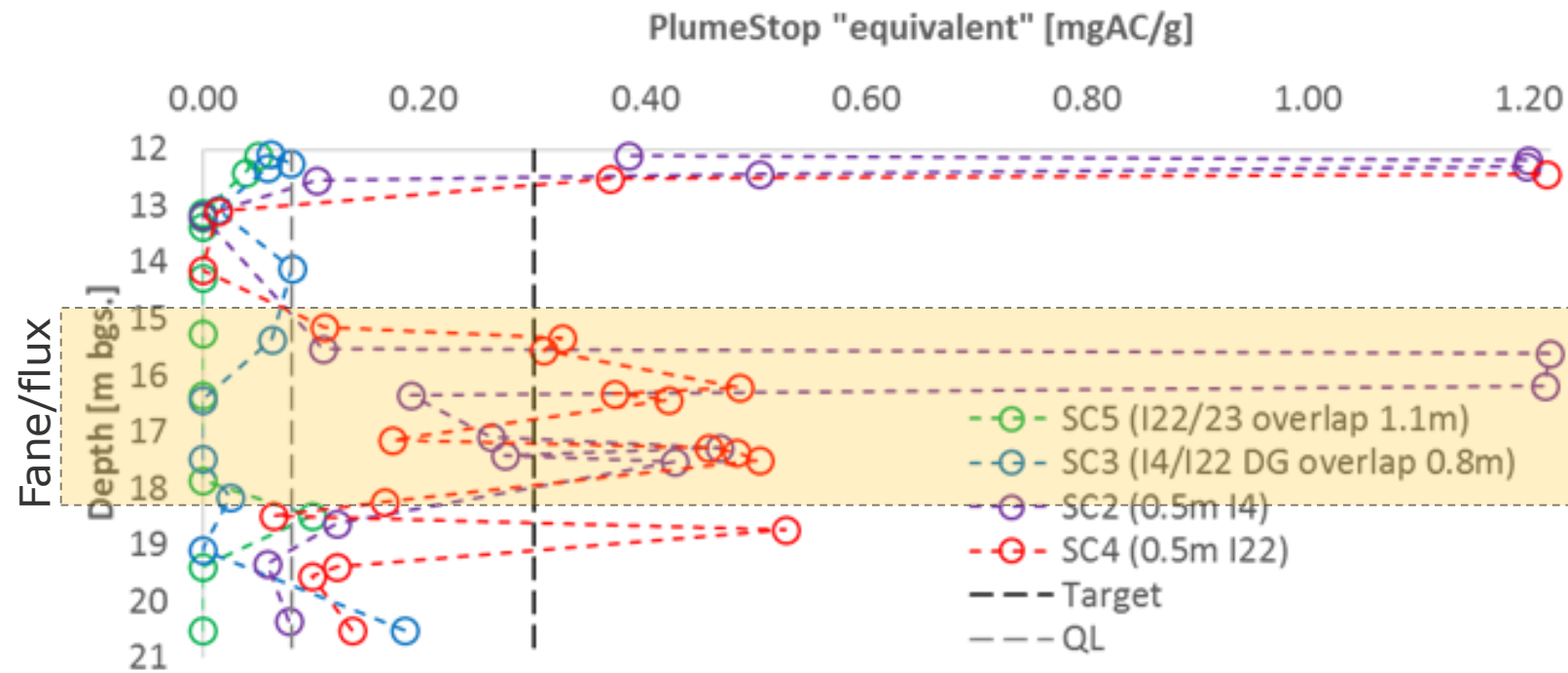


- Sort farve observeret primært 15-18 m u.t. i felten ($\sim 0,5\text{m}$ nedstrøms injektionspunkt)



JORDKERNER

- DTU har målt sorptionskapacitet med TCE for jordprøver til påvisning af PlumeStop (baseret på målte isotermer)
- Resultater mellem injektionspunkter
 - Begrænset fordeling af PlumeStop
- Resultater nedstrøms injektionspunkterne
 - God fordeling. Mere end halvdelen af prøverne indeholder mere PlumeStop end design
 - Begrænset fordeling 13-15m u.t.



Visual + sorption test SC4

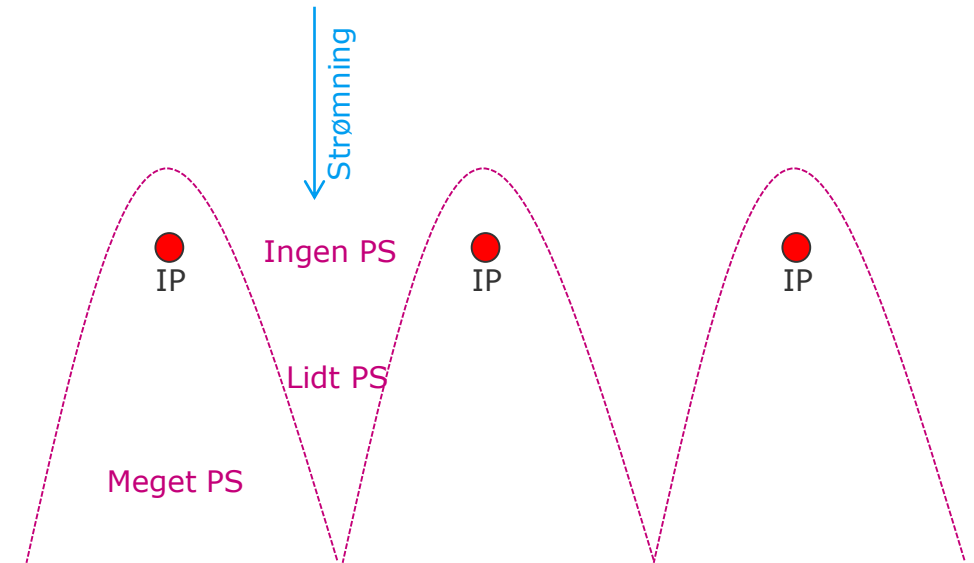
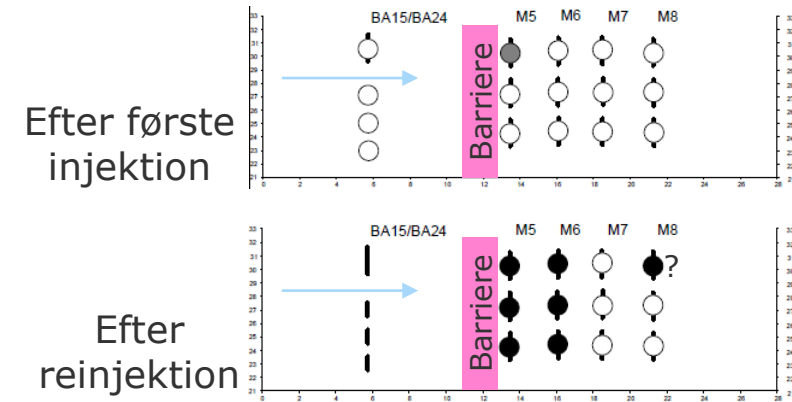


ND	0.07 mg/g	0.11 mg/g	0.19 mg/g
41 0.13	42 0.12	43 0.10	44 0.16
45 <QL	46 0.52	47 0.17	48 0.45
49 0.48	50 0.50	51 0.48	52 0.37
53 0.42	54 0.11	55 0.32	56 0.30
57 ND	58 <QL	59 >1.2	60 0.36

VANDPRØVER

- 36 filtre monitoreres i og nedstrøms barriere
- Efter reinjektion:
 - Klorerede ethener reduceres væsentligt (indirekte mål for PlumeStop)
 - DHC indhold stiger 1-4 størrelsesordener
 - NVOC stiger (god fordeling)
 - Sort vand i flere filtre
- Niveauspecifikke vandprøver
 - God fordeling af donor og PlumeStop nedstrøms injektionspunkter. Begrænset mellem injektionspunkter

Transekt 4 - Vandfarve



KONKLUSIONER

- Fordeling efter reinjektion
 - PlumeStop fundet i jordkerner (præcis fordeling af PlumeStop ikke kendt)
 - Donor godt fordelt
 - Sorption i mange monitoringsfiltre
 - Gode redoxforhold
 - Lav pH (korrelerer med donor)
 - Væsentligt stigning i DHC indhold
 - God fordeling nedstrøms injektionspunkterne (dog ikke 13-15 m, men her er TCE konc. lave)
- Generelt
 - Udfordrende at opnå god fordeling selv ved injektion i tilsyneladende homogent sand
 - Design og injektionsteknik har stor betydning – Injektionstest bør udføres og baggrund for design af ROI granskes
 - Godt resultatet opnået med stor indsats fra en masse mennesker
- Sorption og nedbrydning ikke gennemgået i dag – Mange spændende data.

SPØRGSMÅL