



Stor succes med udvikling af in-situ pilot test med Push Pull

V. Pernille Rehné Jensen, Mads Georg Møller, Henriette Kernn-Jespersen, Region Hovedstaden
John Ulrik Bastrup, Sofie Kamille Schultz Bøllingtoft, Geo

Agenda

- Rammen for projektet v Pernille
- Pull Push Pull Pull... forsøg v John
- Hvordan vil Regionen bruge Push Pull fremadrettet? v Pernille

Hvorfor udføre in situ Push Pull ?

Oprensning af sites med mindre forureninger med lille risiko. Dvs. der er ikke krav om fuld oprensning, men kun tilstrækkelig flux reduktion.

Opdraget: Injektioner i eksisterende borer, distribution i matrix – kan det mobiliseres?

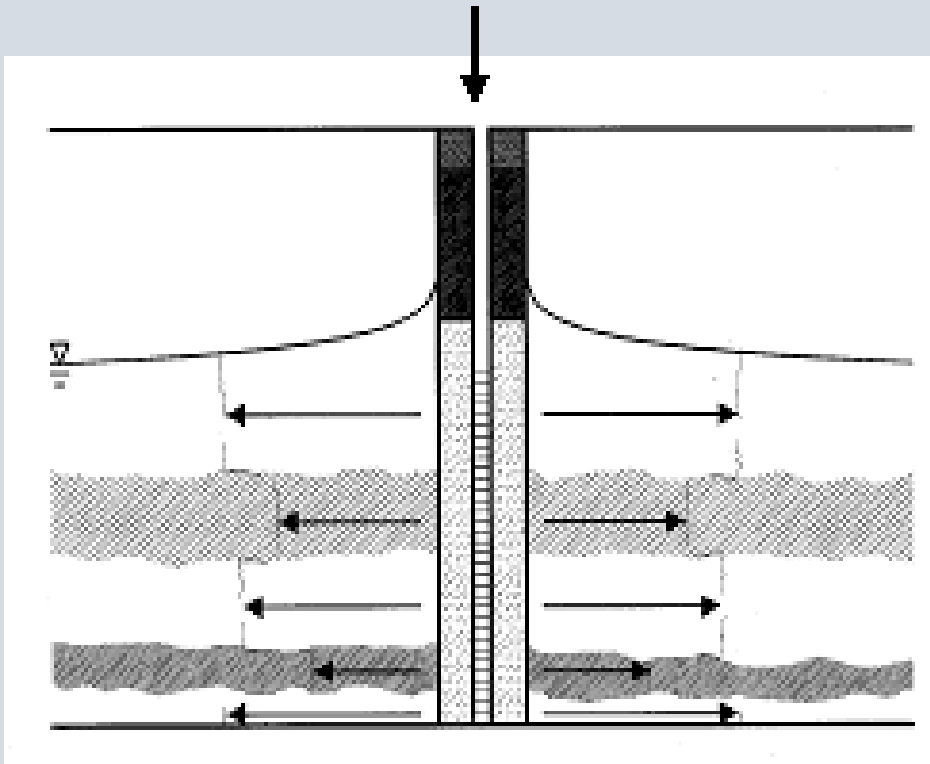
Standart Laboratorieforsøg af to tre slag ZVI til at afgøre reaktanten viste sig at udgøre en uforholdsmæssig stor udgift for en sag af denne størrelse

Forstudie/litteratur studie af Pull Push test

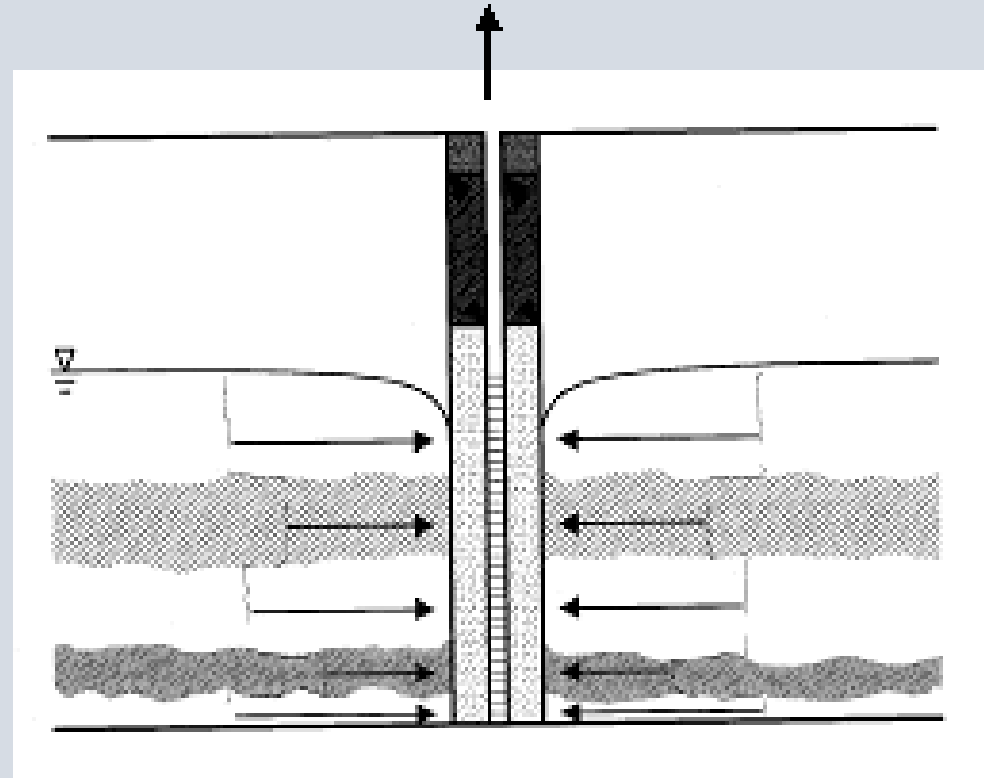
Kan Push pull modificeres så den kan anvendes til at teste reaktanter (mobilitet og reaktivitet) til afværgesager?

Push Pull – hvad er det lige?

PUSH: testopløsning: vand, tracer og evt. reaktanter



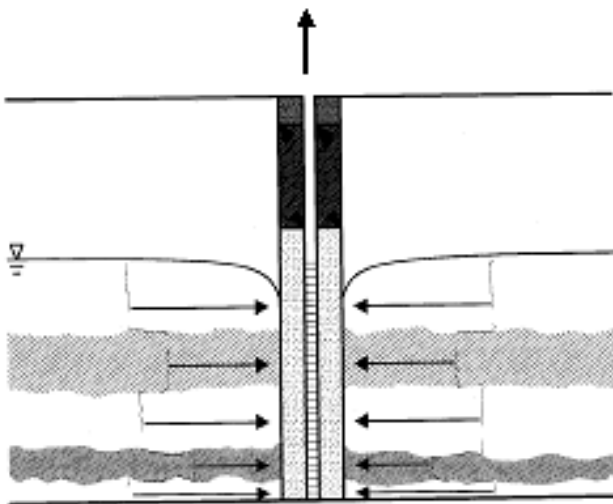
PULL: pumper op og måler løbende for tracer og udvalgte parametre



Hvordan tilpasser vi?

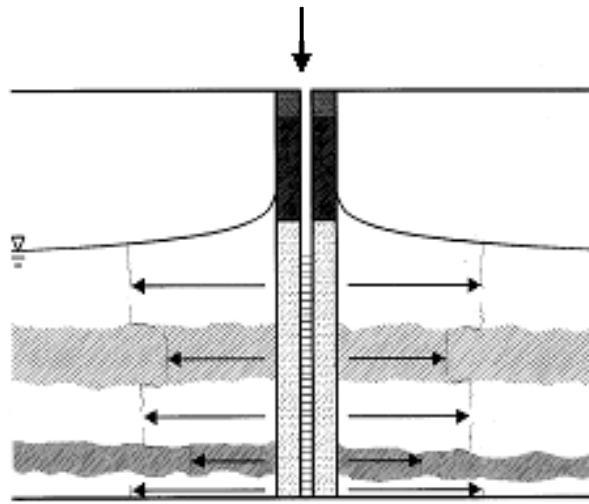
Tidligere

- Vandhanevand (rent vand) tilsat tracer og reaktant
- Kort opholdstid; timer, dage



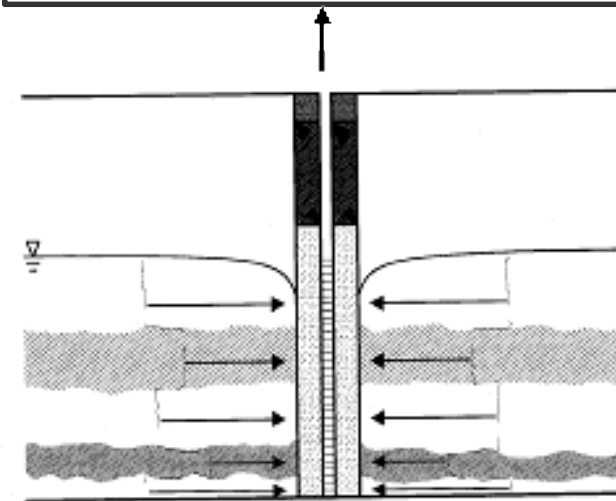
Tilpasning

- Vand fra sitet: Push Pull bliver til Pull Push Pull
- Lang opholdstid; uger, måneder
- Opdelt på mobilitet og reaktivitet



Reaktanter er udvalgt pba.

- Partikelstørrelse (både **nZVI** og **mZVI**), opløst mobilitet, kombination af abiotisk og biotisk, forureningen, forskellige carbonkilder (soya/melasse)



Push-pull forsøg på Kærhøjgårdsvej

Mobilitetstest – Quick and dirty (1 dag):

- B424: Ferox Plus + Cl^- (tracer)
- B427: Nanofer + melasse + Cl^- (tracer)

Reaktivitet- og mobilitetstest – Slow and patient (8+ måneder):

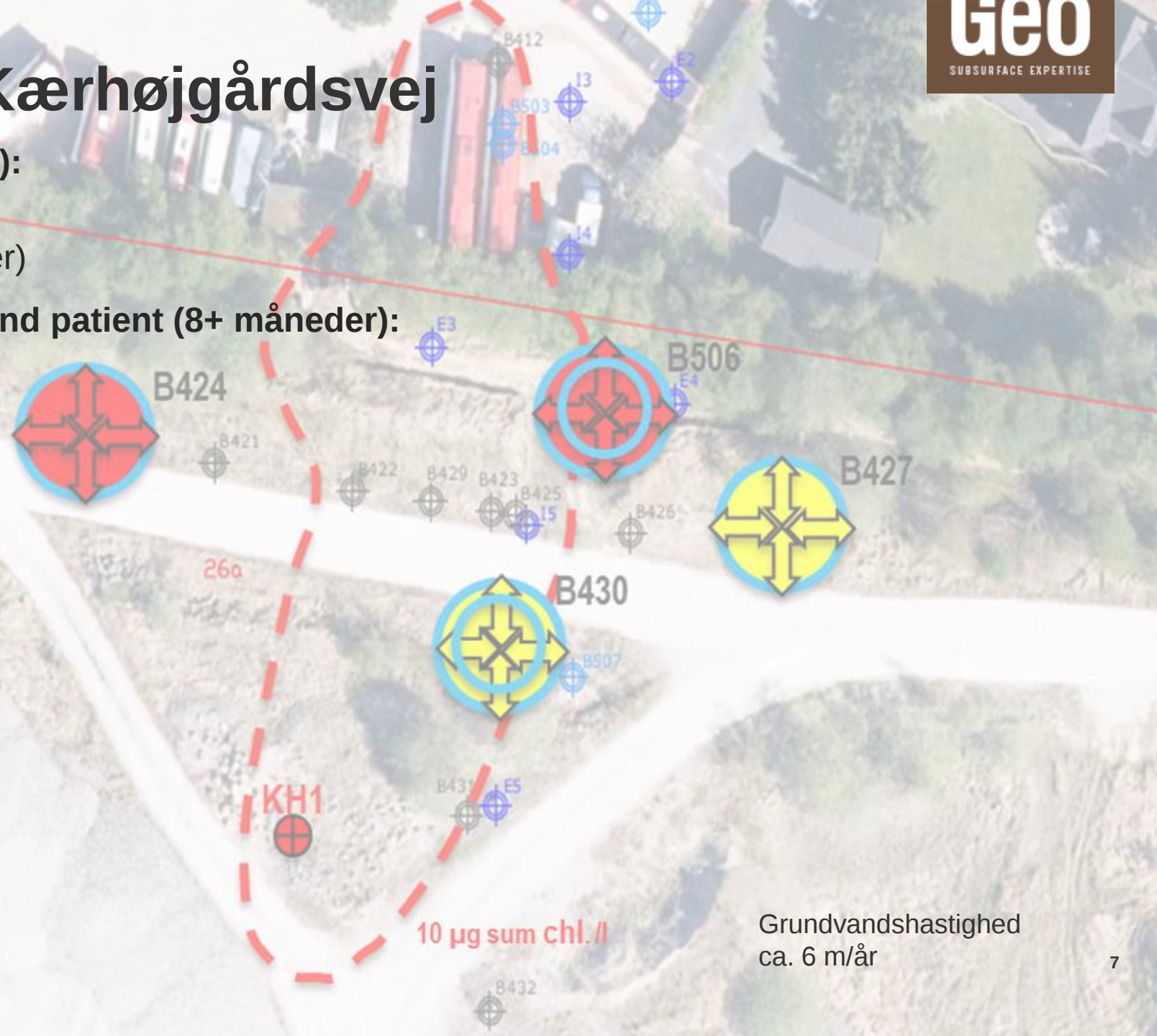
- B506: Ferox Plus + KB1 + Cl^- (tracer)
- B430: Nanofer + melasse + KB1 + Cl^- (tracer)

Ferox plus + $\text{KB1} + \text{Cl}^-$

Ferox Plus eZVI er et emulgeret, mikroskala, nulvalent jernprodukt som produceres af Hepure i USA. Opløsningen består af mZVI, soyabønneolie, vand, vitaminer og næringsstoffer (herunder natriumlaktat)

Nanofer (nZVI) + økologisk melasse + $\text{KB1} + \text{Cl}^-$

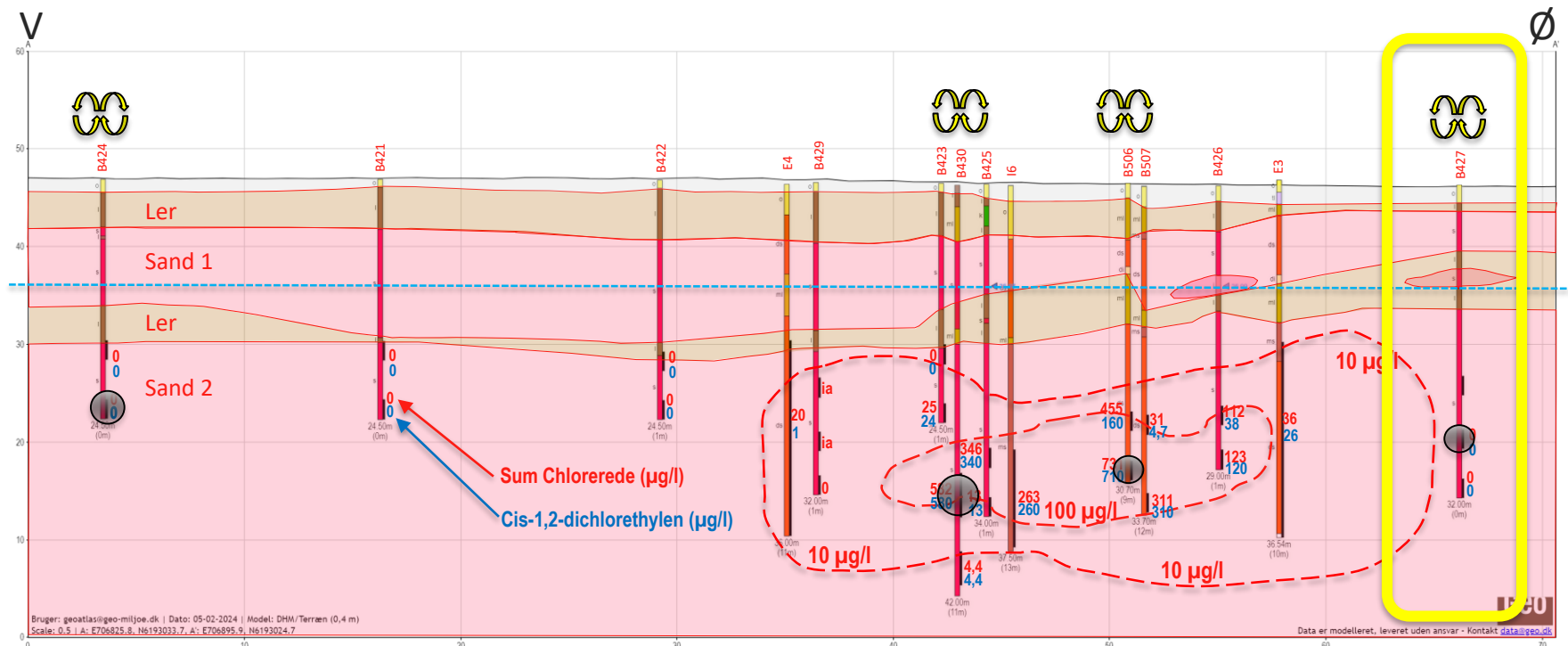
NANOFER25 er et nanoskala nulvalent jernprodukt, som produceres af Nanolron i Tjekkiet. Produktet er en reaktiv opløsning-/slurry bestående af 20% nZVI og 80% vand.



Grundvandshastighed
ca. 6 m/år

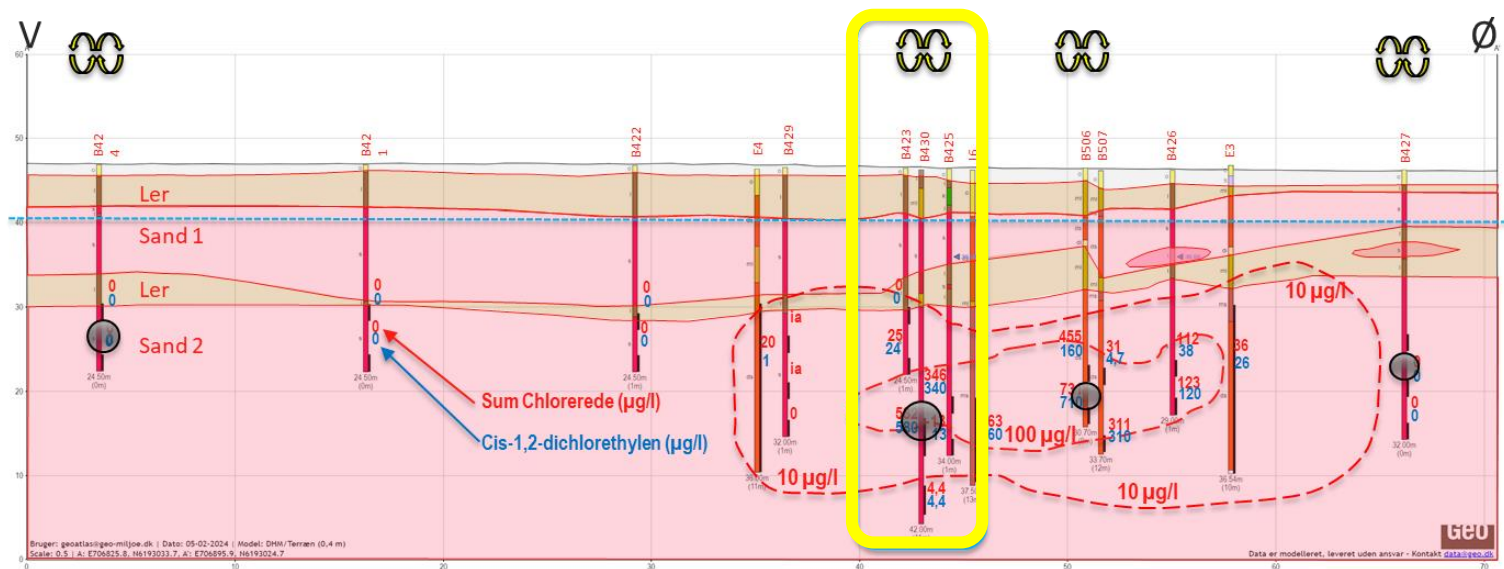
Mobilitetstests – ”Quick and Dirty” (eksempel B427)

- **Pull-1** - Oppumpning af 6 m³ grundvand fra boring
 - Iblanding af 45 kg Nanofer, 1000 kg økologisk melasse, Cl⁻ (1.000 mg/l) under anaerobe forhold (sikret med sparging med Ar)
- **Push** - Injektion af ca. 5,5 m³ opblandet produkt i boring – ROI ca. 2 m
- **Pull-2 (samme dag som push)** - Oppumpning af ca. 10 m³ (ca. dobbelte af push) med løbende prøvetagning



Reaktivitets- og mobilitetstests – ”Slow and Patient” (eks. B430)

- **Pull-1** – Oppumpning af ca. 8 m³ grundvand fra boring til kar under helt anaerobe forhold
 - Iblanding af 75 kg Nanofer, 1000 kg økologisk melasse, Cl⁻ (1000 mg/l) og 8 liter KB1 under anaerobe forhold (sikret med sparging med Ar)
- **Push** – Injektion af 7 m³ opblandet produkt i boring – ROI ca. 2 m
- **Pull-2 (efter 23 dage)** – Oppumpning af ca. 11 m³ med løbende prøvetagning
- **Pull-3 (efter ca. 2½ måneder)** – Oppumpning af ca. 10 m³ med løbende prøvetagning
- **Pull-4 (efter ca. 8 måneder)** – Oppumpning af ca. 10,5 m³ med løbende prøvetagning



Container med reaktantblanding mv.

Blanding af formationsvand med
produktblandingen i lufttæt kar

1. Pull 2. Pull 3. Pull 4. Pull

Push

Boring

Boring



Klarlæggelse af fysiske udfordringer

- Håndtering af produkter
- Levering af produkter: Clogging
- Egnethed af eksisterende filtre

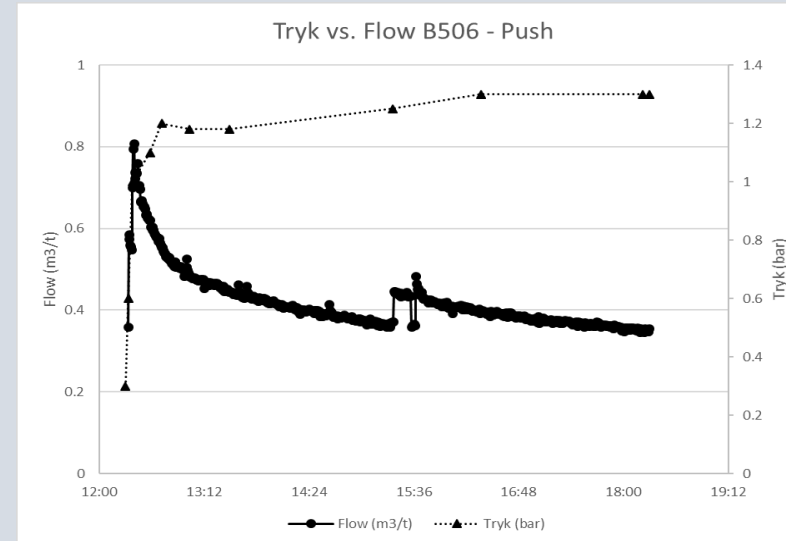
Oppumpning/Pulls i samme boring

Pull1 → sænkning 4 m
ved en ydelse på 1,8 m³/t

Pull2 → sænkning 5 m
ved en ydelse på 1,4 m³/t

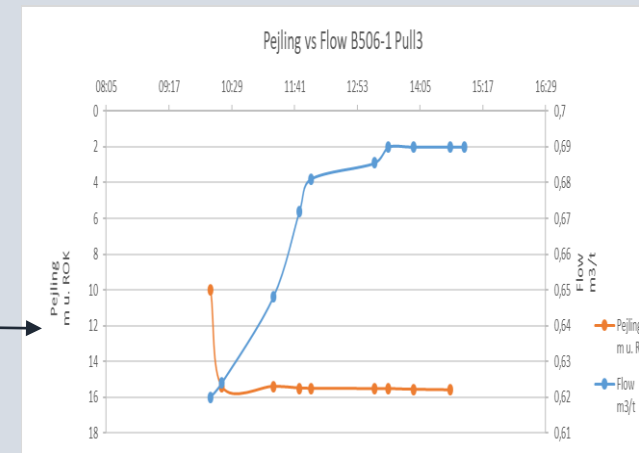
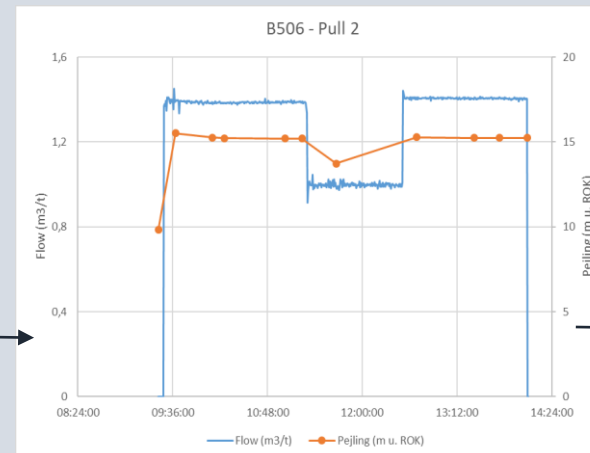
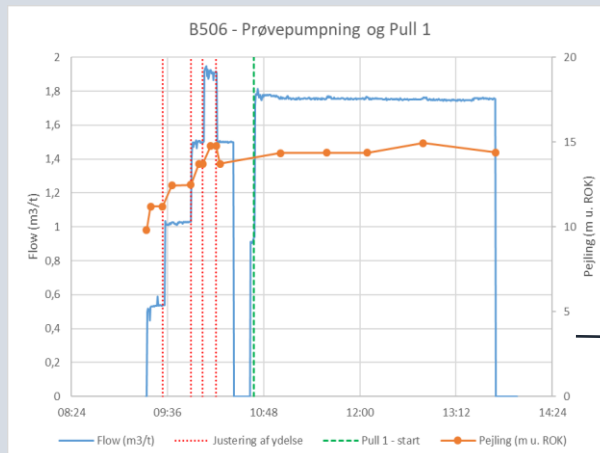
Pull3 → sænkning 5,8 m
ved en ydelse på 0,7 m³/t

Tegn på clogging!



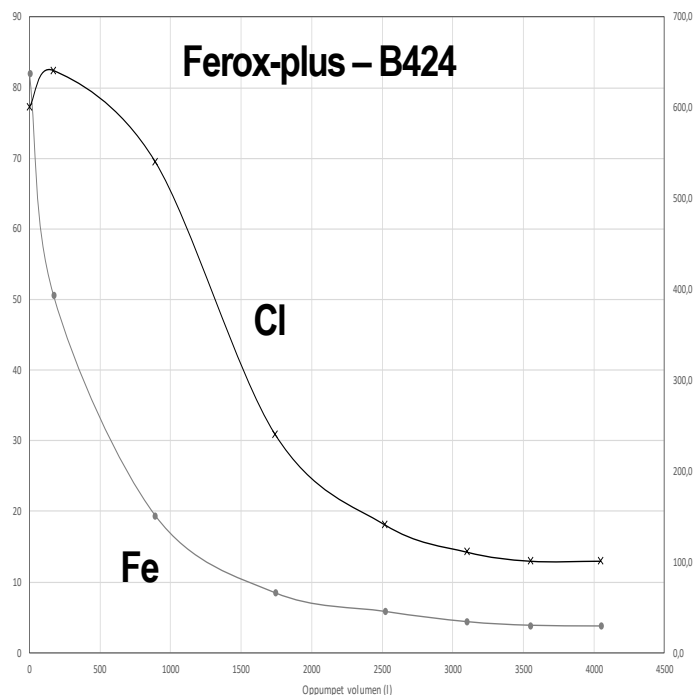
Nedpumpning/Push Ferox-plus:
Trykstigning til 1,3 bar ved
faldende ydelse fra 0,8 til
0,35 m³/h

Begyndende tegn på clogging!



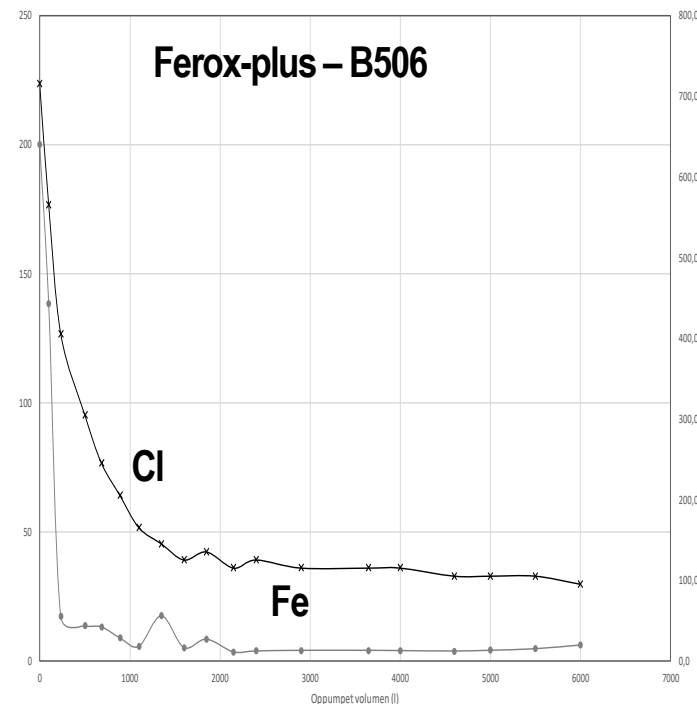
Mobilitet - Recovery

Quick and dirty (Pull2) – uden pause



Fe recovery: 30,2%
Cl recovery: 52,1%

Slow and Patient (Pull2) – 23 dages pause

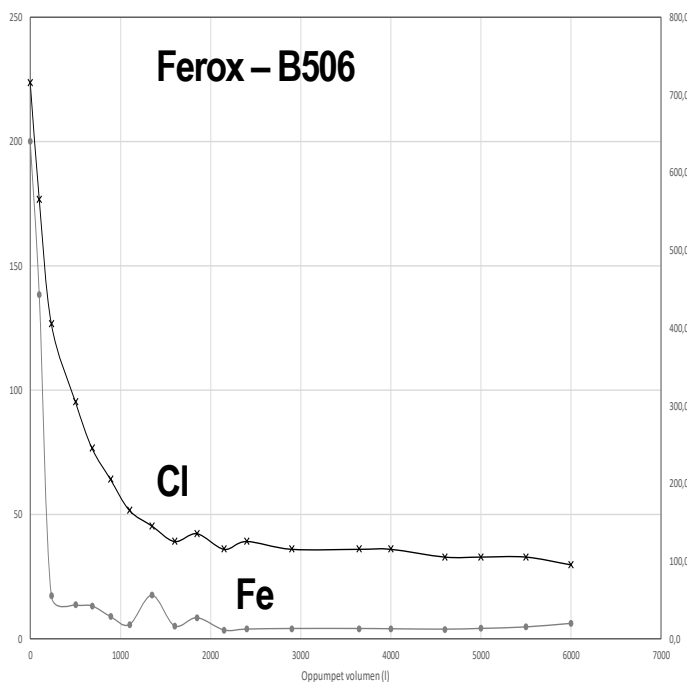


Fe recovery: 8,8 %
Cl recovery: 31,5 %

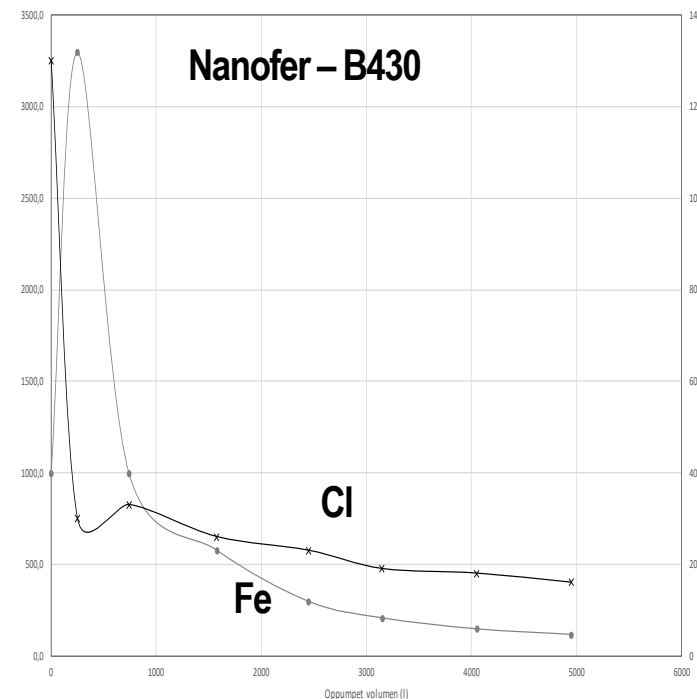
% af injiceret jernprodukt der genoppumpes sammenlignet med % klorid der genoppumpes giver en god indikation af hvorvidt reaktanten er mobil. Ved pull 2 i S&P forsøget efter ca. 3 uger ses det, at ZVI-jernproduktet i Ferox-Plus er "groet" mere fast end ved Q&D forsøget.

Mobilitet - Recovery

"Slow and Patient" (Pull2) – 19 til 23 dages pause



Fe recovery: 8,8 %
Cl recovery: 31,5 %

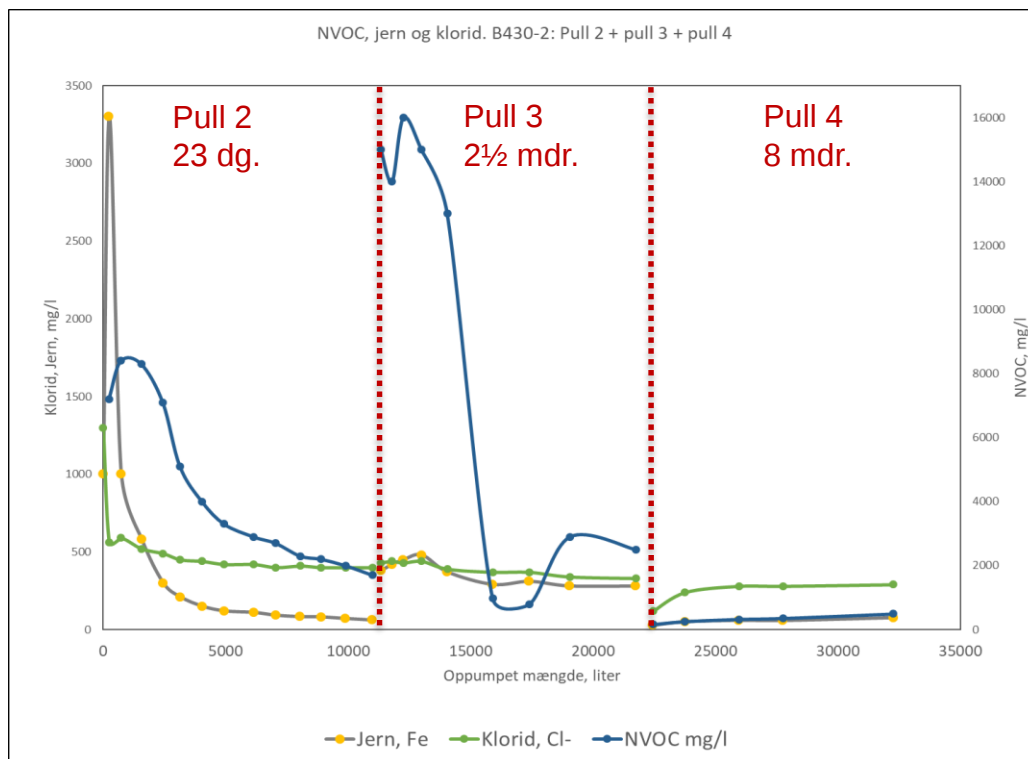


Fe recovery: 43,9 %
Cl recovery: 21,7 %

Ved pull2 efter ca. 3 uger ses det, at ZVI-jernproduktet i Ferox-Plus "gror" mere fast end nZVI-jernproduktet i Nanofer, og det samme gør sig gældende efter ca. 2½-3½ måneder (pull3).

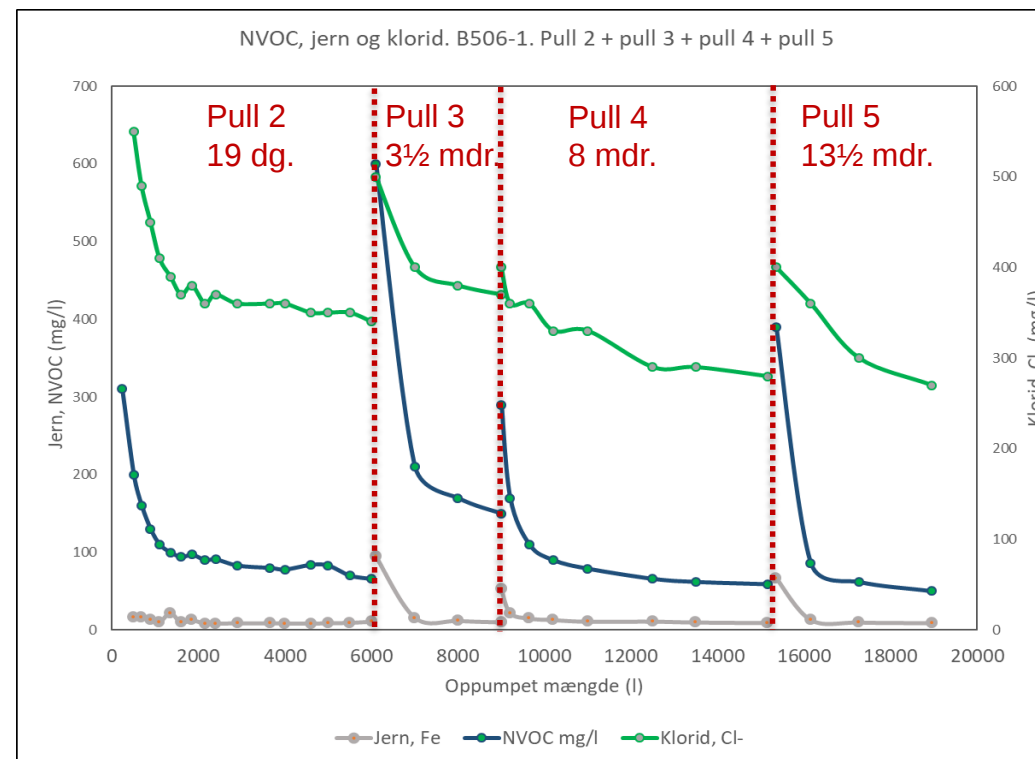
Holdbarhed "Longevity"

Nanofer (nZVI) + økologisk melasse + KB1



Fortsat meget NVOC (donor) og jern (nZVI) til stede efter pull 3.
Det er ved at være opbrugt/"trukket ud" ved pull 4 efter 8 måneder.

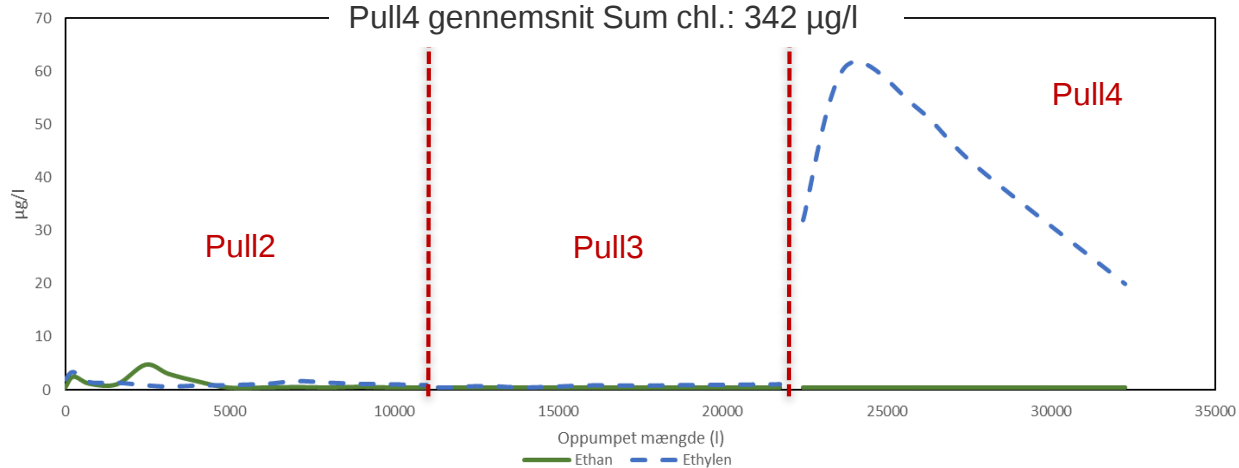
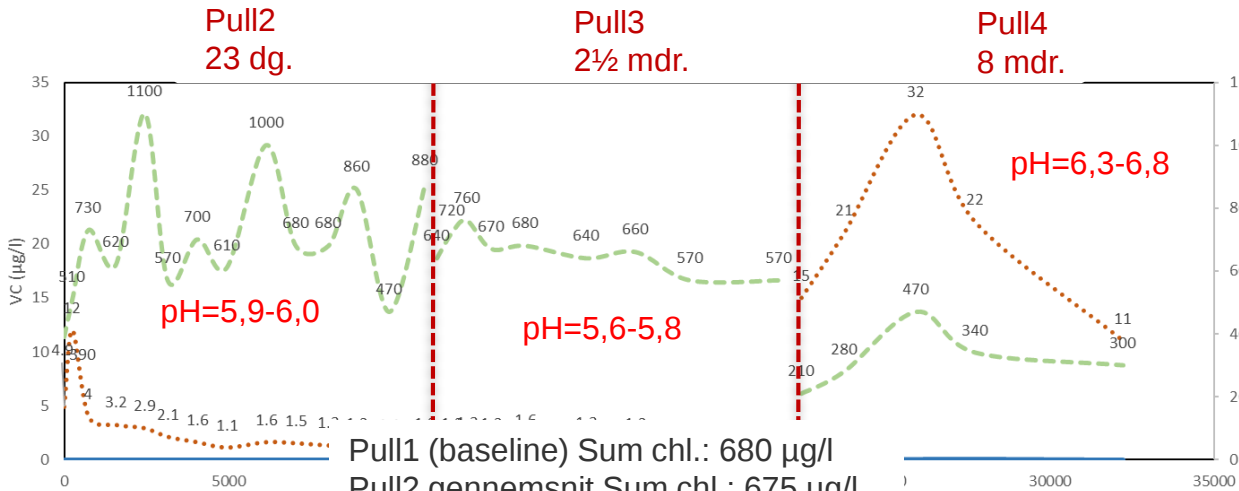
Ferox-plus (mZVI + sojaolie) + KB1



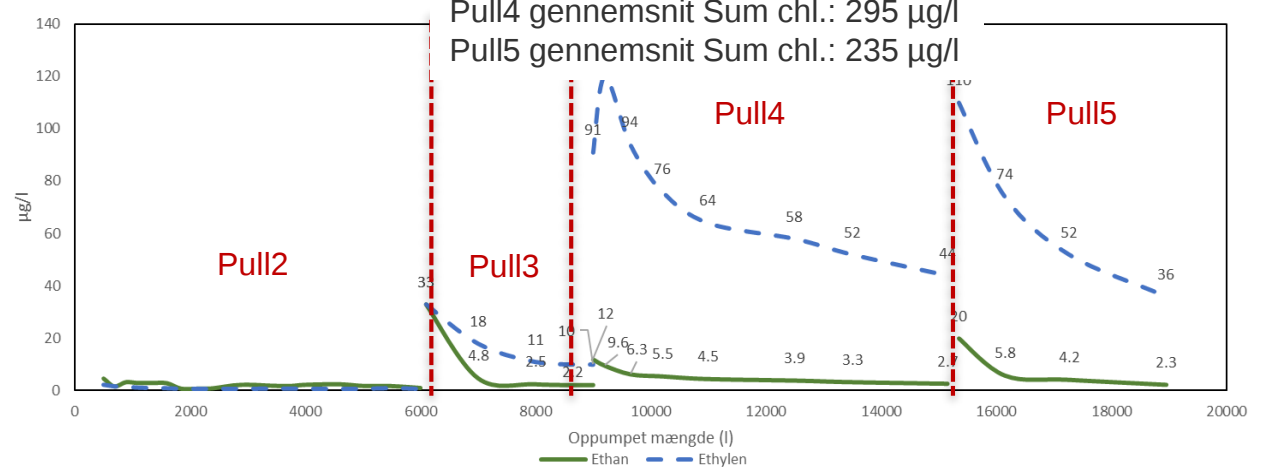
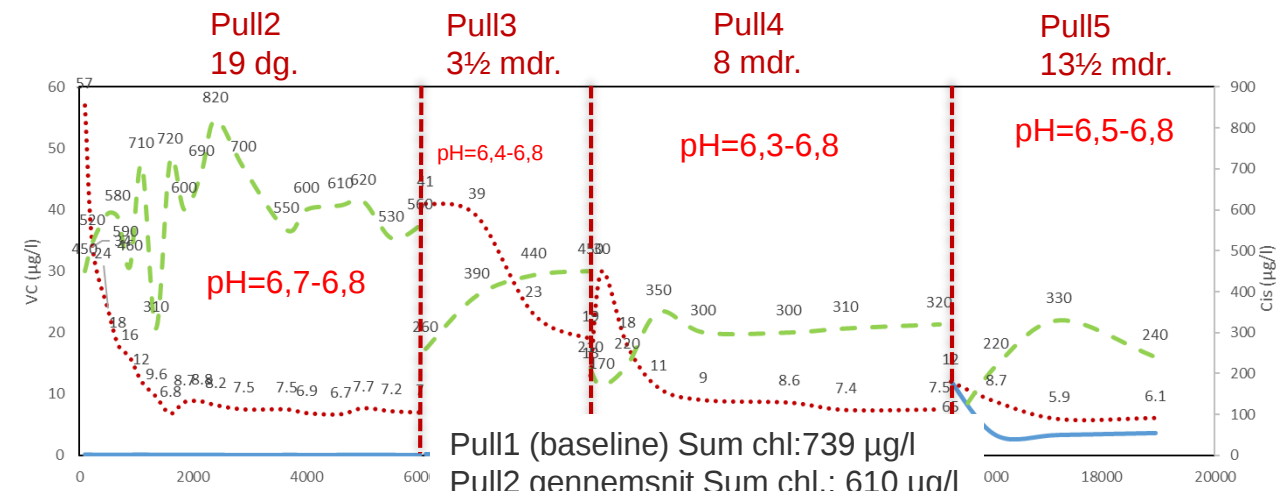
Fortsat noget donor tilstede ved pull 5 efter 13½ måned (NVOC).
Jern-indholdet lavt allerede fra pull 2 (mZVI).

Resultater – Reaktivitet (koncentrationer)

Nanofer + melasse + KB1

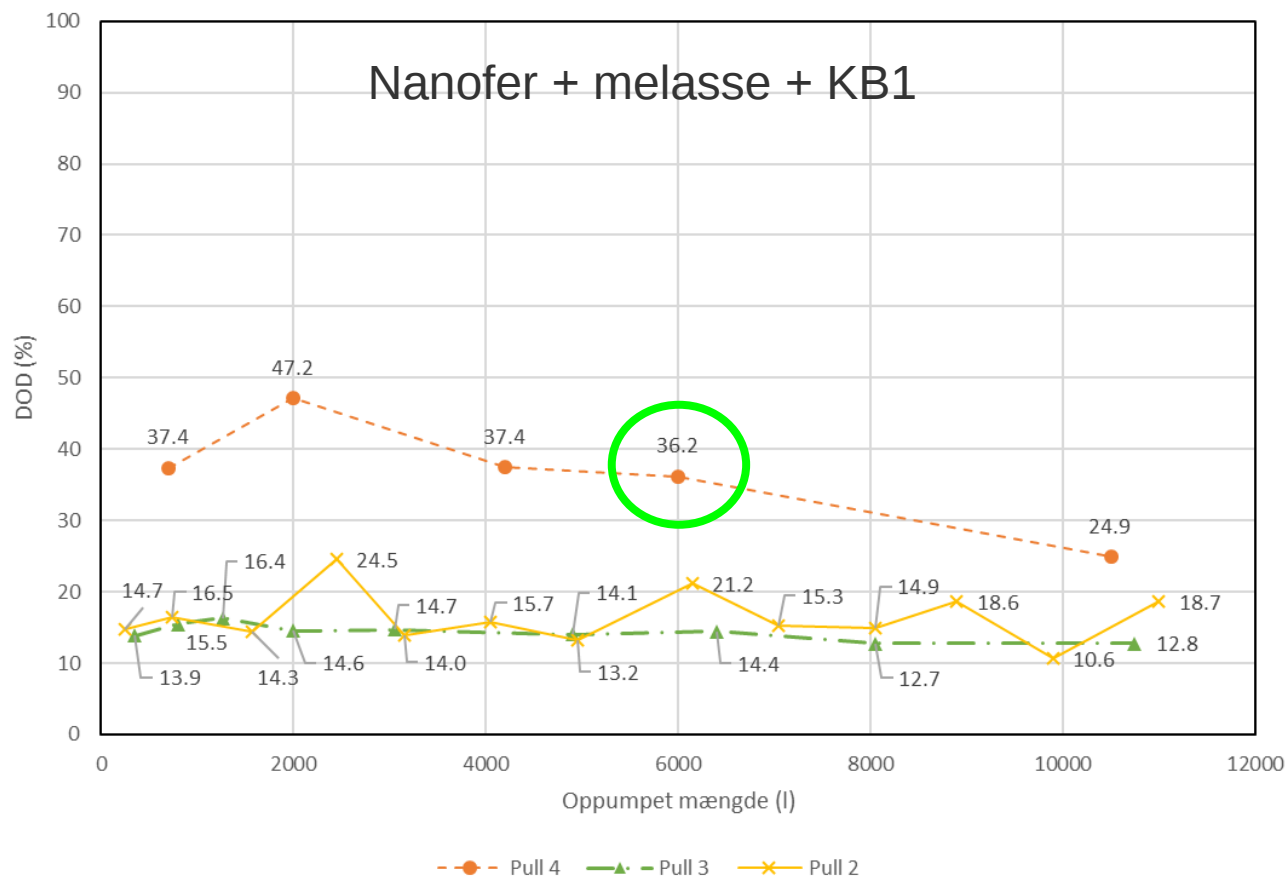


Ferox-plus + KB1

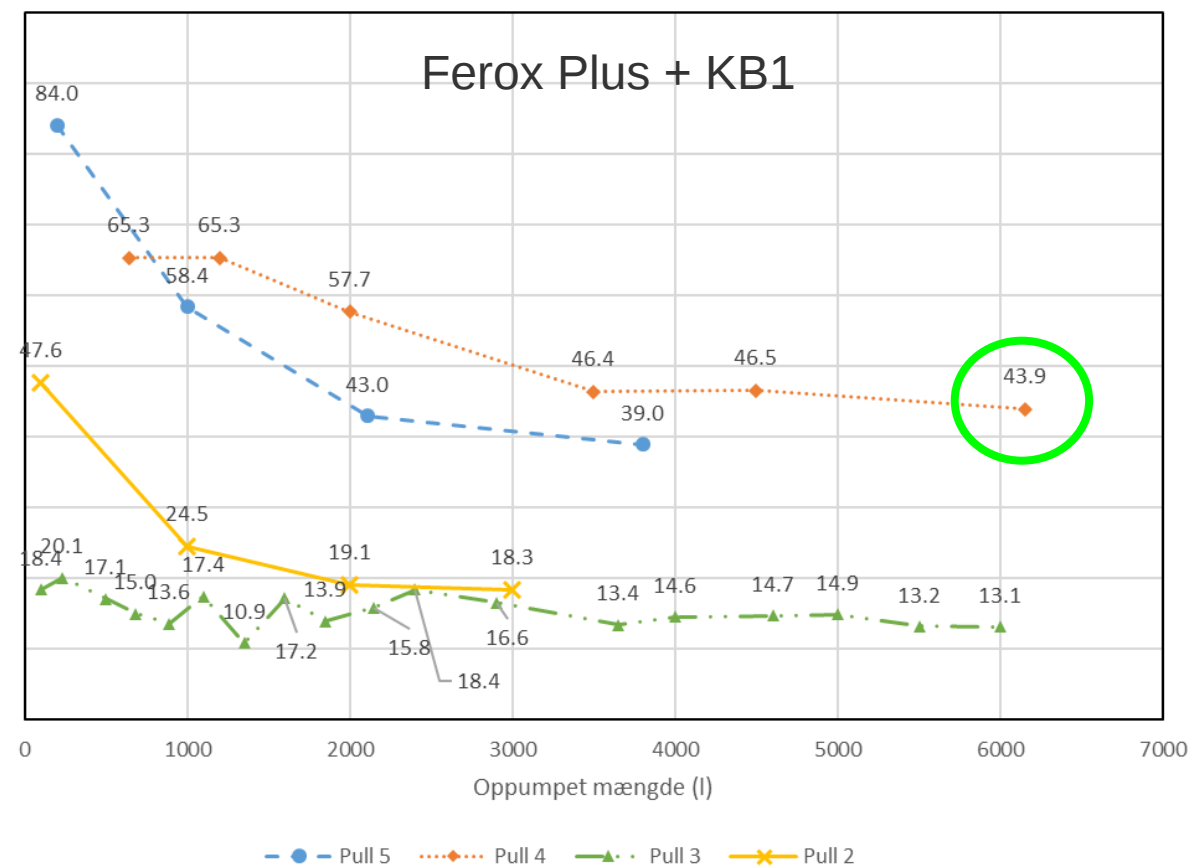


Resultater – Reaktivitet (dechlorering)

Dechloreringsgrad: B430-2, Pull 2-4



Dechloreringsgrad: B506-1 Pull 2-5



Reaktivitet – ”Antal af bakterier”

Nanofer + melasse + KB1

Prøve	Antal af Dehalococcoides per L (gennemsnit)
Baseline	1.35E+06
Kar	6.20E+09
Pull2-23 dg.	1.14E+10
Pull3-2½ mdr.	9.52E+06
Pull4-8 mdr.	9.90E+05



Ferox-plus + KB1

Prøve	Antal af Dehalococcoides per L (gennemsnit)
Kar	1.10E+07
Pull2-19 dg.	1.40E+07
Pull3-3½ mdr.	4.10E+05
Pull4-8 mdr.	3.99E+05
Pull5-13½ mdr.	9.70E+04



- Krav til fuldstændig nedbrydning: Antal > 10⁴ - Der er vigende, men fortsat bakterier nok i magasinet med Nanofer/melasse. Efter 8 mdr. er der ca. det dobbelte antal for Nanofer/melasse end for Ferox-plus.

Performancevurdering/Rating af produkterne for KHG		
Parametre	Ferox	anofer/melasse
Flowdata. Clogging og injicerbarhed		
Produkthåndtering i felten (Forhold omkring mix af slurry mm.)		
Produktspild (Bundfald i kar)		
Mobilitet: Fe recovery: (Q&D)		
Mobilitet: Fe recovery: (S&P)		
Reaktivitet: Molfraktioner: Efter pause i magasin (S&P)		
Reaktivitet: Dechloreringsgrad (DOD%): (S&P)		
Reaktivitet: Kar (restprodukt i kar analyseret i beslutn. for næste pull)		
Reaktivitet: Sum klorerede restprodukter i magasin (S&P)		
Reaktivitet: Bakterier: "K"		
Holdbarhed: Efter ()		
Produktmodn. ()		
Økonomi: Leve (producent)		
Afvejning af leverandør: USA/EU og forhold i forbindelse med leverandørkontakt		

Alt i alt viser pilottestene, at Ferox-plus udviser en markant reaktivitet og oprensningsevne for forureningen på lokaliteten, men i noget mindre udstrækning end tilfredsstillende injicerbarhed og mobilitet.

S&P: Slow and Patient (forsøg med ventetid)
Q&D: Quick and Dirty (forsøg uden ventetid)

Erfaringer

- Modificerede push-pull tests er anvendelige til bedømmelse og sammenligning af reaktanters egnethed til oprensning af specifikke faner.
- Der fås meget konkret viden og evidens for håndterbarhed, injicerbarhed, mobilitet, holdbarhed og reaktivitet for de enkelte udvalgte stofkombinationer for det specifikke magasin - ved de modificerede push-pull tests.
- Forhåndskendskabet til reaktantens natur er afgørende for at kunne planlægge pilotforsøgets varighed. I forsøget med Nanofer/melasse havde vi misset hovedkonklusionen, såfremt pull-push-pull forsøgene var stoppet efter 2½ måned (pull 3).
- Det er alt afgørende at lykkes med at holde vandet fuldstændigt iltfrit ved alle pull-push-pulls. Et system med bobling af argon i den indkommende/afgående streng og i opsamlingsbeholder, kombineret med et plastoverdække på vandoverfladen, har vist sig særdeles effektiv løsning.
- Nødvendigt med løbende in situ logninger af udvalgte grundvandsparametre, herunder ledningsevнемålinger ifht. salttraceren fx til styring af de enkelte forsøgs længde.

Erfaringer

- Bakterieanalyserne er vigtige for at se, hvordan bakterierne spiller sammen med donor/substrat, der anvendes i reaktantblandingen.
- For pull-tests af meget mobile jernprodukter (nZVI) og donor (vandblandbar melasse), fjerner man en betydelig del hver gang. Det sker ikke i samme grad for de ikke så mobile jernprodukter (mZVI) og donor (soja-olie), hvilket indvirker på og skal medtages i vurdering af reaktiviteten.
- For en robust sammenligning af reaktanterne bør boredimension og filter-opbygning helst være ens.
- Der er flere erfaringer. Alt bliver udarbejdet som en guide/vejledning for udførelse af modificerede push-pull tests.
- Specifik konklusion i testede fane: Som fuld skala oprensning egner Nanofer/melasse til en aktiv oprensning med recirkulering imellem eksisterende filtre, hvorimod Ferox-Plus egner sig bedre til levering af en passiv sky i fanens hotspot, (DPT og evt. som et supplement).

Hvordan vil Regionen bruge Push Pull fremadrettet?

- Vi vil bruge Pull Push Pull Pull Pull.. til
 - Estimering af feltbaserede designparametre: ROI, Longevity, injicerbarhed, håndteringen mv.
 - Praktisk erfaring med injicering og realistisk performancevurdering af mobilitet og reaktivitet på specifikke sites.
 - Løbende tilpasning on site af pull push testen pba. resultater.
- Vi mener at vi kan erstatte traditionelle laboratorieforsøg i udlandet med den modificerede Push Pull metode og med vores nye testtrailer, hvor vi kan udføre batch og kolonne forsøg.