Kærgård Plantage

Kemisk oxidation og anvendelse af surfactanter fra laboratorie til fuldskala samt udfordringer og optimering af reaktantspredning

Lars Bennedsen, Mette Christophersen (Rambøll)

Torben Jørgensen, Lars Nissen (Cowi)

Leah MacKinnon, Neal Durant (Geosyntec)

Jørgen Christensen, Ida Olesen (Region Syddanmark)

DEMONSTRATIONSPROJEKT 2017-2021

Formål:

- Etablere demonstrationsanlæg for oprensning under grundvandsspejlet i grube 3
- Indsamle yderligere erfaringer, som kan anvendes i en fuldskalaoprensning

Baggrund:

- Tidligere laboratorie- og pilotforsøg
- Forundersøgelser og stort datagrundlag
- Detailprojekt for afværge

Fokus i dag:

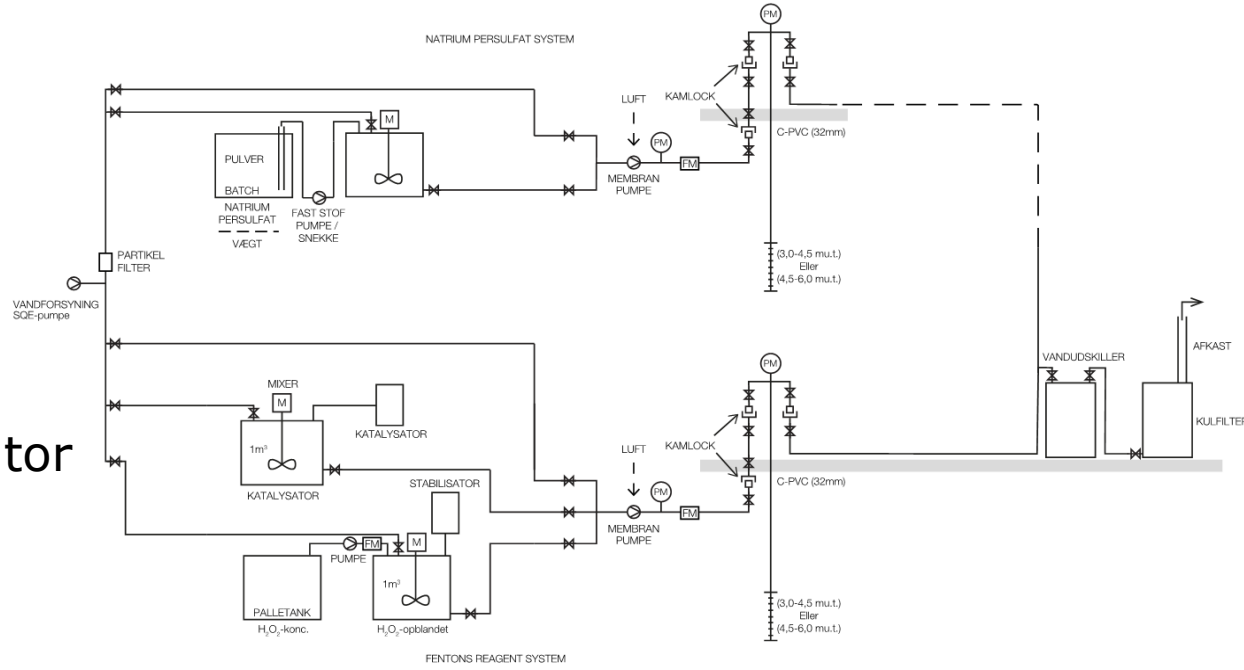
- Erfaringer fra 4 års arbejde med ISCO og S-ISCO* (efterfulgt af SRD, næste indlæg)

RAMBØLL

**S-ISCO og E-mulse 145 surfactant er patenterede teknologier ejet af Ethical Solutions LLC (EthicalChem)*

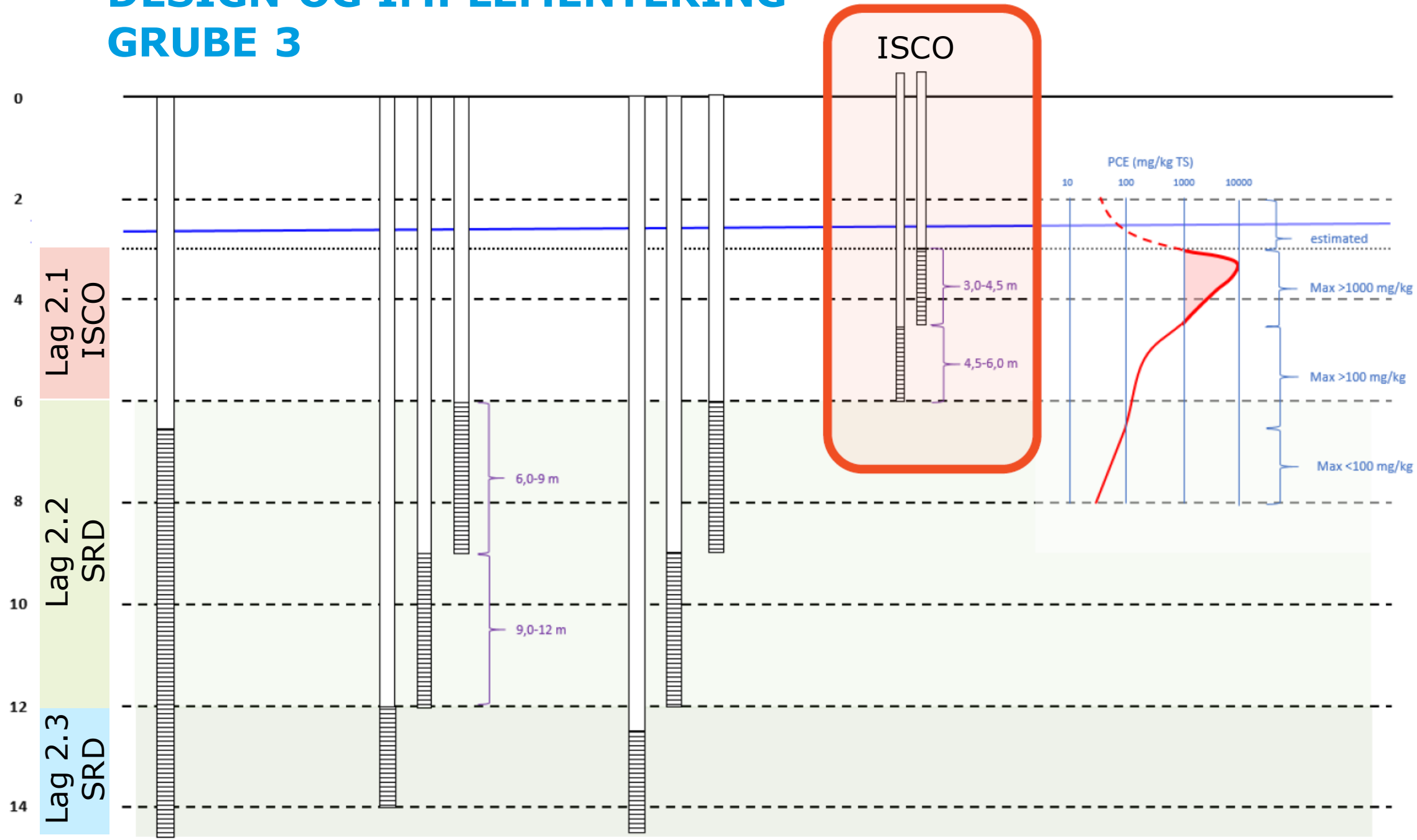
DESIGN OG IMPLEMENTERING GRUBE 3

- Fleksibelt system
- ISCO: Persulfat + hydrogenperoxid + katalysator
- Også anvendelig til surfactanter og biologisk afværge



RAMBØLL

DESIGN OG IMPLEMENTERING GRUBE 3



GRUBE 3
1.010 m²
252 filtre

GRUBE 1

470 m²
453 filtre

GRUBE 2

700 m²
719 filtre

GRUBE 4
1.090 m²
464 filtre

STATUS FOR INJEKTIONER

	Grube 1	Grube 2	Grube 3	Grube 4
Anlæg etableret (år)	2019	2020	2017	2019
ISCO (injektionsrunder)	3	2	8	2
Heraf med S-ISCO* i delområder	2	2	2	1
Status	Mere ISCO	Mere ISCO	Er overgået til SRD	Mere ISCO

En injektionsrunde i grube 3 omfatter typisk ca.:

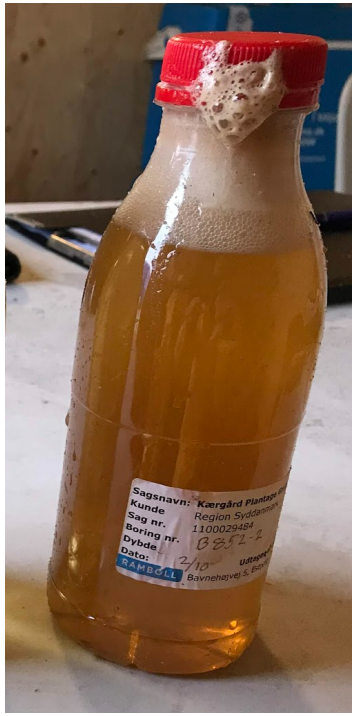
- 20 tons persulfat
- 20 m^3 35% hydrogenperoxid
- Katalysator, stabilisator og evt. surfactant (E-Mulse 145*)
- 126-252 injektionspunkter (800-1600 liter pr. punkt)

RAMBØLL

**S-ISCO og E-mulse 145 surfactant er patenterede teknologier ejet af Ethical Solutions LLC (EthicalChem)*

INJEKTION

- Ca. 2.000 injektionsfiltre til ISCO (fokus på løbende optimering af alle processer)
- Korrekt blanding af reagenser og kobling af slanger mm (risiko for kraftige reaktioner)
- Gas/tryk i udstyr (sikkerhed)
  - Hul i kuglehaner
  - Kontraventil i pumpe
  - Vandprøver
- Klumper i persulfat
- Osv.



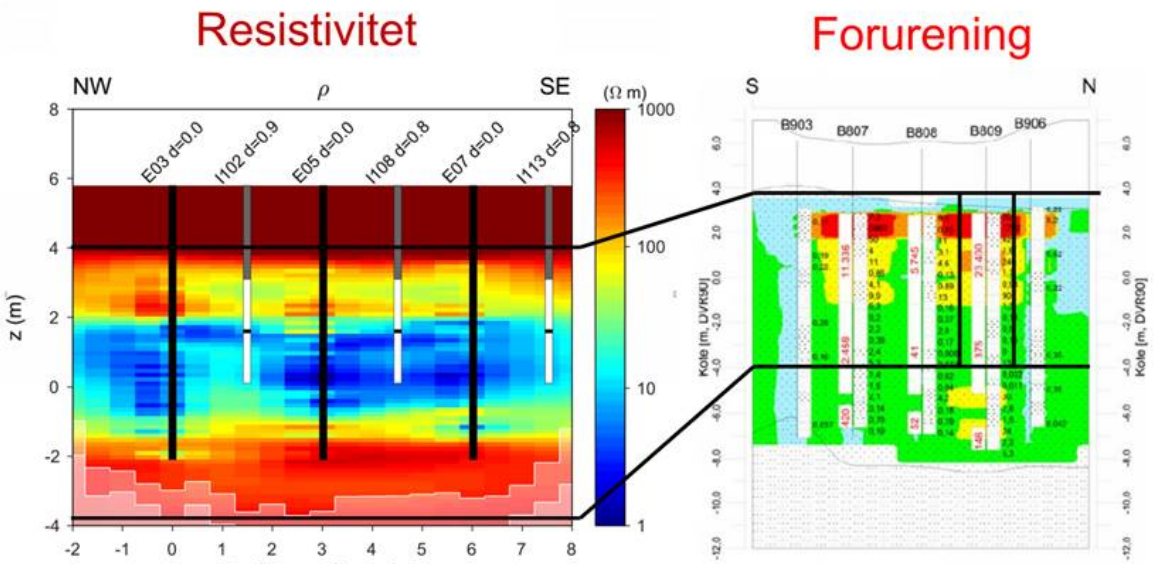
RAMBØLL

INJEKTION

- Daylighting (enkelte filtre)
- Trykopbygning under og efter injektion (enkelte filtre)

- Flere tusinde injektioner udført, ganske få praktiske udfordringer, som er løst løbende.

FORDELING AF REAGENSER (UDFORDRINGER)



Gennemgået i forrige indlæg

Geofysik og vandprøver viser efter 2 injektionsrunder:

- Ujævn spredning via 1,5m filtre
- Reagenser mangler i toppen, hvor NAPL primært findes
- Reagenser synker over tid til stor dybde (få dage)
- Årsag: Geologi (sand/grus) og densitetsforskelle

RAMBØLL

FORDELING AF REAGENSER (TEST)

Test - Fem forskellige modifikationer:

1. Injektionsfiltre trukket 1m op
2. Blokering af den nederste 1m af 1,5m filtre
3. Injektion og samtidig oppumpning i nærheden
4. Kun Fentons (uden persulfat)
5. Nye kortere filtre

Løsning – 126 filtre blev trukket 1 m op

RAMBØLL

FORDELING AF REAGENSER (DESIGNÆNDRINGER)

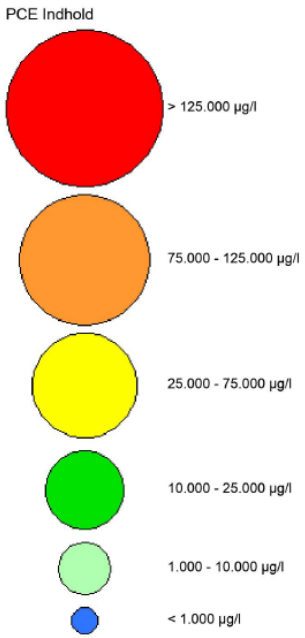
Indledende erfaringer fra grube 3 blev anvendt til justering af design for grube 1, 2 og 4 inden implementering.

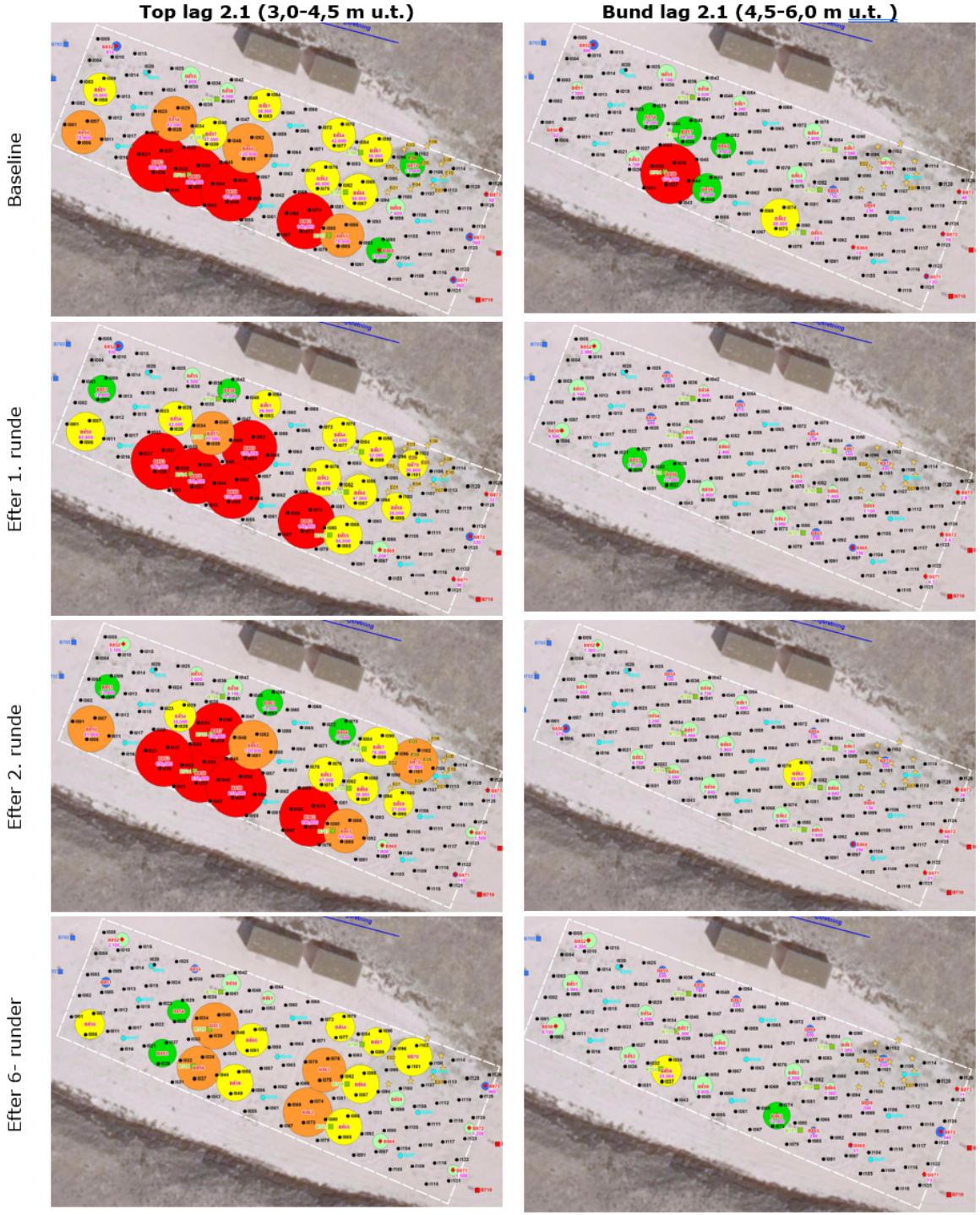
	Grube 3	Grube 1, 2 og 4
Filterdiameter	32mm	50mm
Filterlængde	1,5m	1,0m
Placering top filter	Ved grænse for DNAPL, under grundvandsspejl	~1 m over DNAPL, krydser grundvandsspejl
Antal filtre pr. punkt	2 stk	2-5 stk
Afstand mellem punkter	3m	2-3m
Injektionsflow	15 l/min	60 l/min
Injektionsvolumen pr. punkt		Øget, løbende justeret
Koncentration af oxidant		Løbende justeret for hver enkel runde og filter

RAMBØLL

DOKUMENTATION AF EFFEKT

- Vandprøver (se figurer med PCE i vand)
- Jordprøver fra intakte kerner
  - Resultater indikerer, at ISCO alene ikke er kosteffektiv i områder med meget DNAPL
  - Kan surfactanter være en løsning?



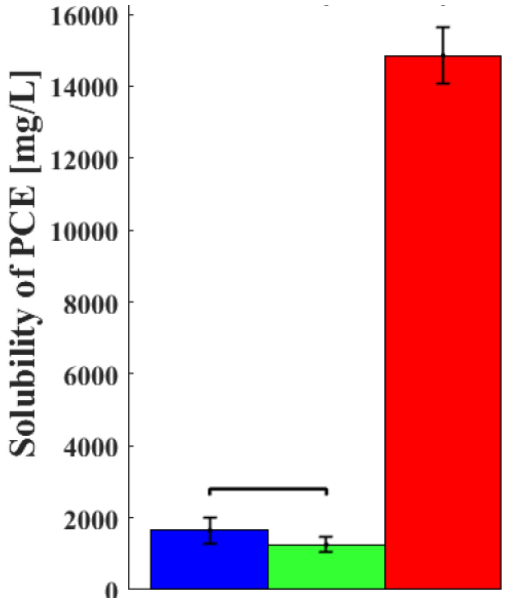


RAMBØLL

SURFACTANTER (LAB)

AALBORG UNIVERSITY
STUDENT REPORT

3 surfactanter testet med ISCO, bl.a. stabilitet, opløselighed, persulfatforbrug, nedbrydning af PCE



SiREM

E-Mulse 3 og E-Mulse 145 testet i flere detaljer inkl. kolonnetest

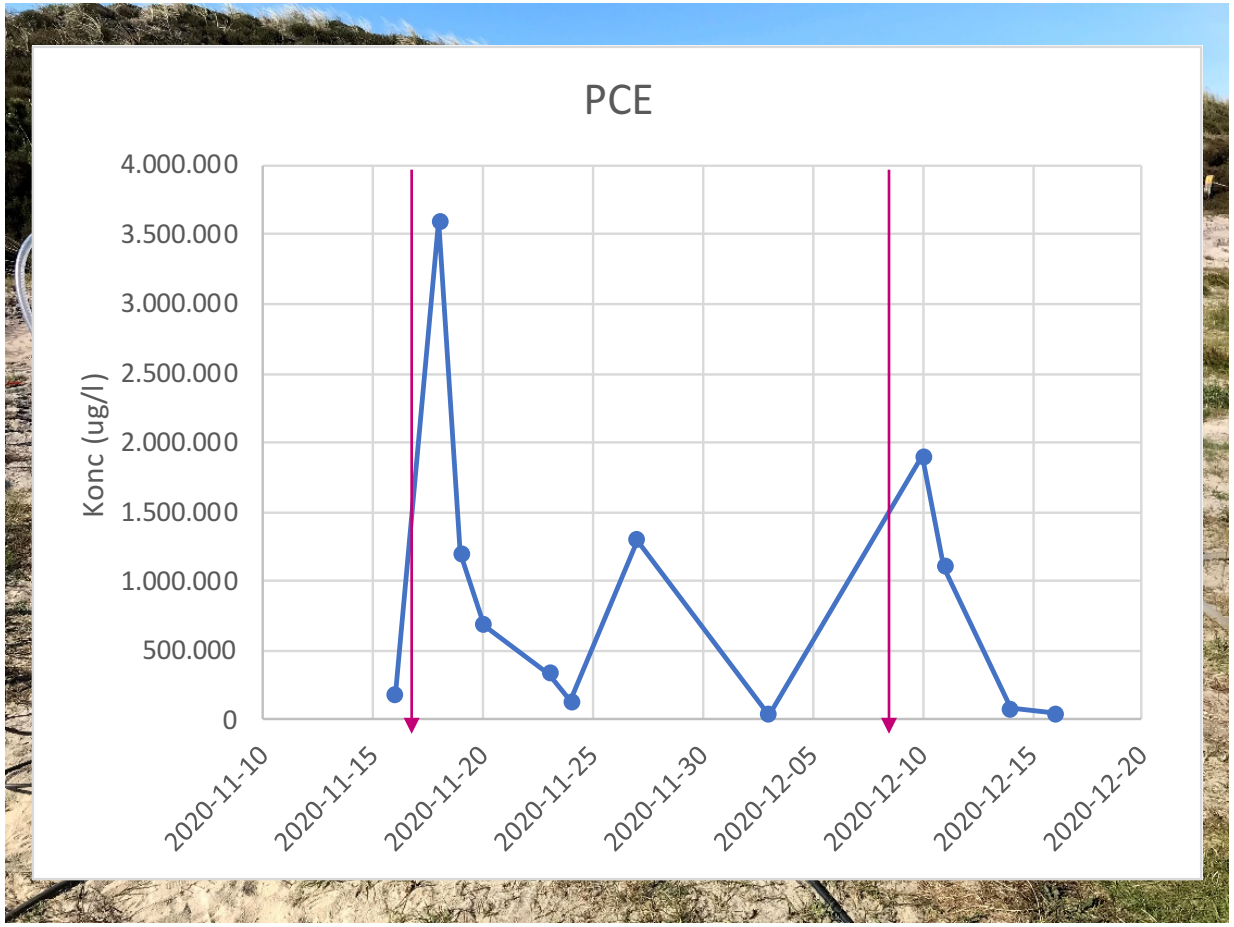
- Effektiv opløsning og massereduktion påvises
- Pilottest anbefales

RAMBØLL

Kærgård Plantation Surfactant-Enhanced In Situ Chemical Oxidation of Tetrachloroethene, Mike N. Christiansen & Emil G. Thomsen, Master thesis, Aalborg University, Jun 2019

Laboratory Treatability Study to Evaluate Surfactant Enhanced In-Situ Chemical Oxidation of Chlorinated Solvents and Petroleum Hydrocarbons - Batch Tests, Kaergard Site, Denmark, SiREM, Dec 2019

SURFACTANTER (PILOT)



Tre pull-push-pull test
1600 l oppumpet/injiceret – 5000 l oppumpet

1. Tracertest NaCl
2. Surfactant (med lithium-tracer)
3. S-ISCO (med lithium-tracer)

Resultater:

- Størstedelen af de injicerede reagenserne kunne genindvindes
- 5% E-Mulse 145 kunne kunne opløse 4 g PCE/l
- S-ISCO med 5% E-Mulse 145 og 70 g persulfat/l viste både opløsning og nedbrydning

RAMBOLL

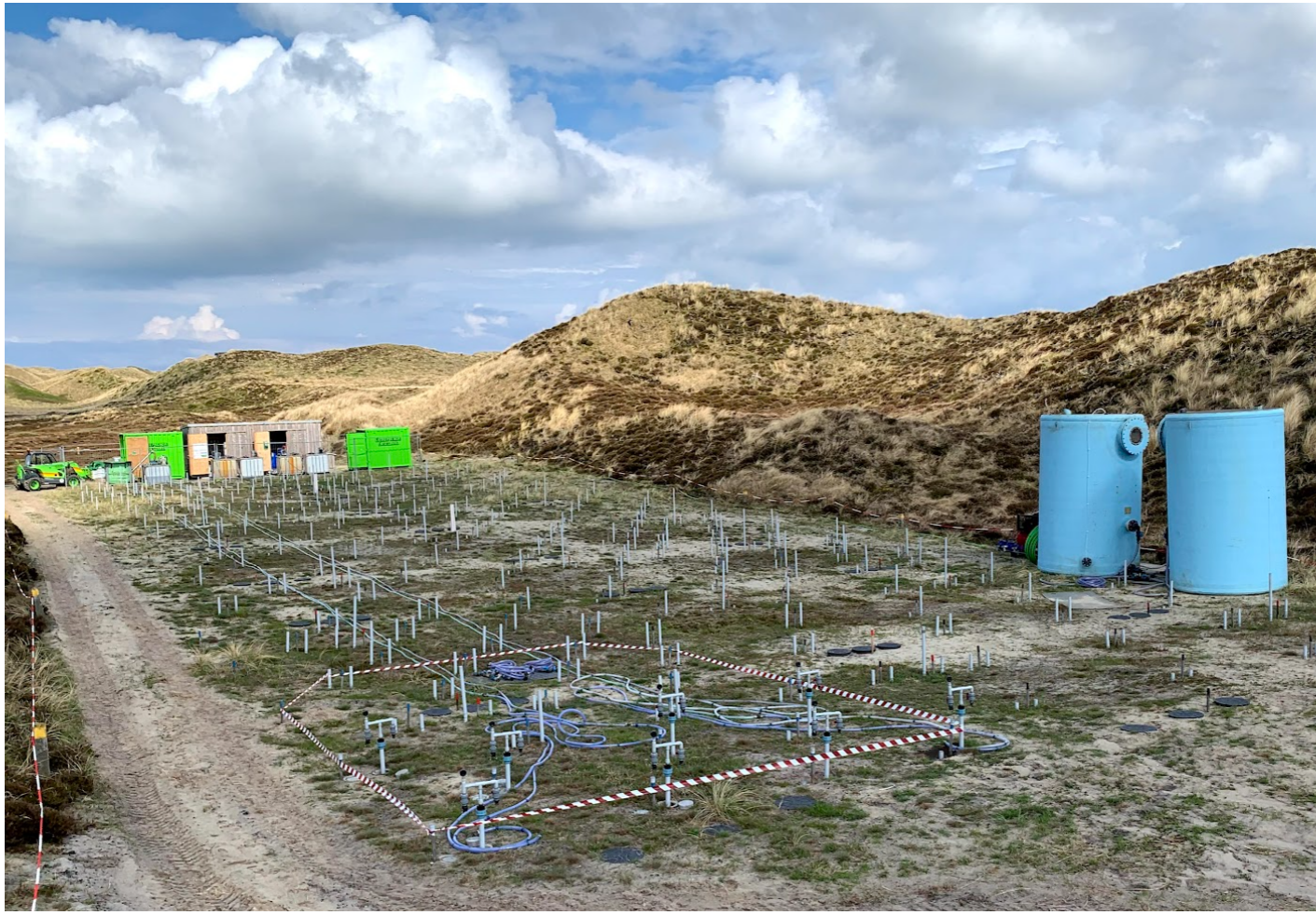
SURFACTANTER (FULDSKALA)

- Redesign af kemisk afværge
  (inkl. S-ISCO i DNAPL-områder)
- Plan ved potentiel mobilisering af DNAPL
  (ekstra oxidant og oppumpning nedstrøms)
- PCE målt op til 32.000.000 µg/l i moniteringsboring
  (stadig oxidant i vandet)
- Konc. af surfactant og oxidant er justeret flere gange
  (balance mellem opløsning og nedbrydning)
- Nogle steder nødvendigt med oppumpning og genanvendelse af vand med surfactanter
- Nødvendigt med meget monitering pga. risiko for mobilisering. Kræver feltmålinger af oxidant og surfactant.

RAMBØLL

SURFACTANTER (FULDSKALA)

- PCE og kulbrinter mobiliseres, men nedbrydes nedstrøms injektionspunkt
- Forureningsflux stiger kortvarigt i DNAPL-områder, men reduceres efterfølgende væsentligt
- Oxidant transporteres med grundvandet og sikrer nedbrydning af opløst forurening
- Kloridindhold stiger mere end ved ren ISCO
- S-ISCO er kosteffektiv i områder med meget DNAPL (>1000 mg PCE/kg)



RAMBØLL

KONKLUSIONER

- Vigtigt med fokus på løbende afprøvning, revurdering og justering af afværgen
- ISCO er effektiv, når reagenser fordeles korrekt, men kraftig DNAPL behandles bedre med S-ISCO
- Fordeling af reagenser kan være udfordrende selv med meget stort antal injektionspunkter (geologi og densitet)
- Monitering af optimal fordeling er svær, geofysik kan være en del af løsningen
- Demonstrationsprojektet har givet vigtige input til endeligt design af fuldskalaløsningen i de øvrige gruber
- Indsatsområde ender kraftigt oxideret, med pH omkring 2 og høj konc. af sulfat (udfordrende for den efterfølgende SRD)

RAMBØLL

SPØRGSMÅL?

RAMBØLL