



PFAS - 2 demonstrationsprojekter

Jordrensning med destruktion

Finansiering: Miljøstyrelsen (10 mio. kr.)

Projektgruppen: De 5 regioner og VMR

Rådgiver: WSP

Entreprenør: Arkil/Haemers og Krüger/Veolia



Regionernes Videncenter
for Miljø og Ressourcer



Tidligere Korsør Brandskole

Jordkoncentrationer

- 4 PFAS: 73-183 µg/kg
- 22 PFAS: 85-208 µg/kg



Jordkvalitetskriterier

- 4 PFAS: 10 µg/kg
- 22 PFAS: 400 µg/kg



Moniteringsprogram

Medie	Analyseparameter
Jord	22 PFAS 35 PFAS TOP EOF Opløselig fluorid Udvaskningstest NTS
Luft	OTM45 OTM50
Kondensat	22 PFAS 35 PFAS TOP AOF Opløst fluorid NTS
Aktivt kul	22 PFAS



Pilot forsøg: Termisk afværgelse af PFAS i jord

PFAS I JORD:
FRA 7 ÅRS LABORATORIE-
TEST TIL FIELD STUDY

Erstatte ved Krügers teknologi:

energiforbrug - anvender ikke

materialer end nødvendigt

når den er grøn og billigst

PFAS gennemføres

Søren Eriksen
Krüger A/S

 **VEOLIA**

Disclaimer

The information contained in this statement is based on the Veolia group's understanding and know-how of the scientific, regulatory and technical fields discussed herein as of the time of publication.

No contractual undertaking or offer is made on the basis hereof and no representation or warranty is given as to the accuracy, completeness or suitability for the purpose of the relevant information.

Descriptions contained herein apply exclusively to those examples and/or to the general situations specifically referenced, and in no event should they be considered to apply to specific scenarios without prior review and validation.

Statements that may be interpreted as predictive of future outcomes or performance should not be considered guarantees of such, but rather reasoned assessments of the possible evolution of the technologies described.

No contractual undertaking or offer is made on the basis of this statement, any contractual commitment or relationship being subject to the conclusion of separately documented written agreement(s) between Veolia and its co-contractant(s).

Agenda

1

Termisk afværg
af PFAS

2

Pilot test
- Formål
- Setup

3

Resultater og
konklusion

4

Videre mod
fuldskala
oprensning

Termisk konduktiv behandling af PFAS jord

Før behandling

31 ton jord
 $\Sigma 22$ PFAS: 190 $\mu\text{g/kg}$ (6 g)
Udvaskning (L/S=2)
 $\Sigma 22$ PFAS: 12000 ng/L



Grøn el energi



PFAS reduktion i jord

>99.99% af $\Sigma 22$ PFAS



Efter behandling

27 ton tør jord
 $\Sigma 22$ PFAS: <0.6 $\mu\text{g/kg}$
Udvaskning (L/S=2)
 $\Sigma 22$ PFAS: non detect

DeFluorinator

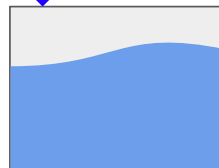
600°C

1 m³/h

GAC

Aktivt kul

100 kg GAC
 $\Sigma 22$ PFAS: 0.1 g
2% of total



Kondensat

4000 L
 $\Sigma 22$ PFAS: 0.0005 g
0.01% of total

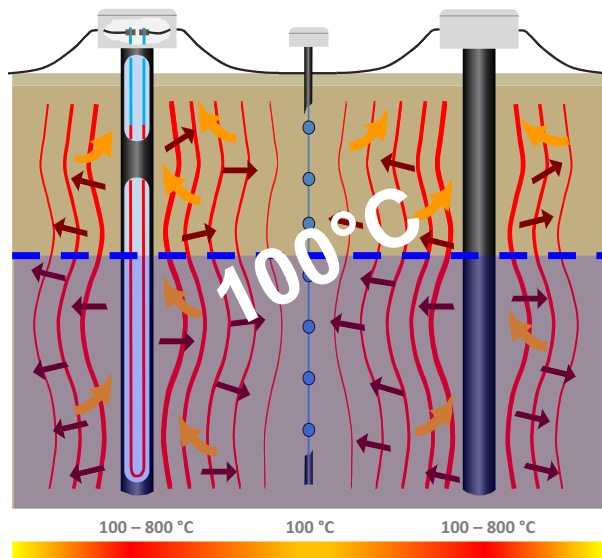
Alle tal er baseret på pilotforsøget i Korsør

350°C behandlingstemperatur

	Temperatur [°C]	Tid [days]	Resultat konc./reduktion	Reference	
	250	7	Precursor nedbrydning	Krüger lab	←
→	350	7	6 - 12 µg/kg PFOS	Krüger lab	
→	400	14	~ 1 µg/kg PFOS	Krüger lab	
	250	8	26%	Jacobs lab	←
	300	4	40%	Jacobs lab	←
→	350	2	99.4%	Jacobs lab	
	300	–	65%	TRS lab	←
→	350	–	99.91%	TRS lab	
→	400	–	99.998%	TRS lab	
	350-400	10	0 - 10 µg/kg PFOS	TRS pilot pile	← Kolde
	100-500	–	0 - 200 µg/kg PFOS	TRS pilot in situ	← områder
→	600	30 @ > 400°C	< 0.03 µg/kg PFOS	TRS 1400 m³ pile	

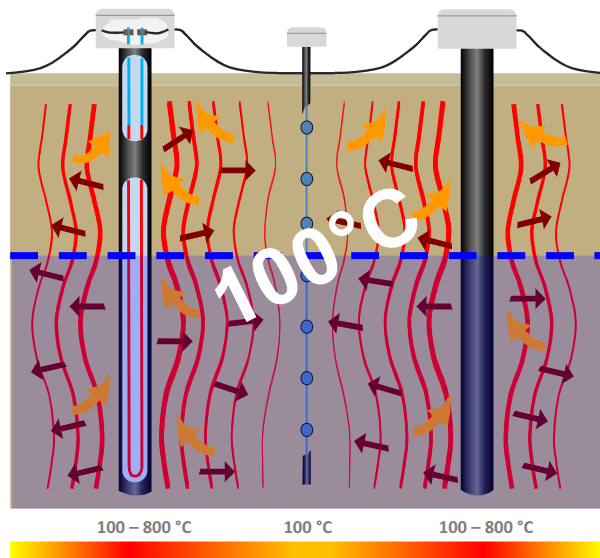
Gode resultater ved ≥350°C. Begrænset virkning ved lavere temperatur

TCH regimer

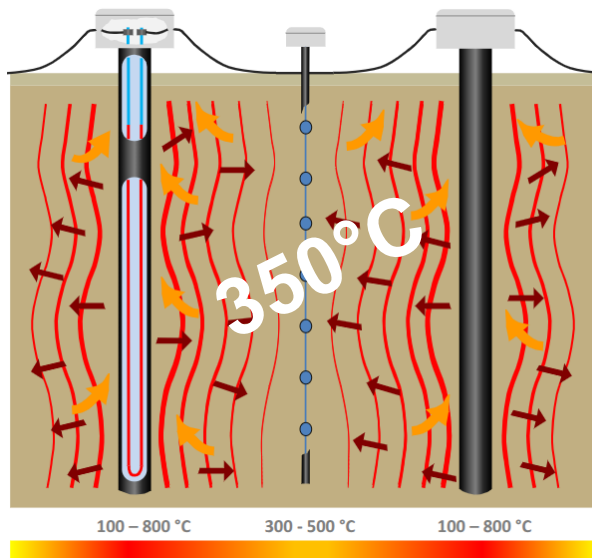


- Mættet og umættet zone
- Primært fordampning
- CVOC
- Lettere kulbrinter
- SVOC

TCH regimer

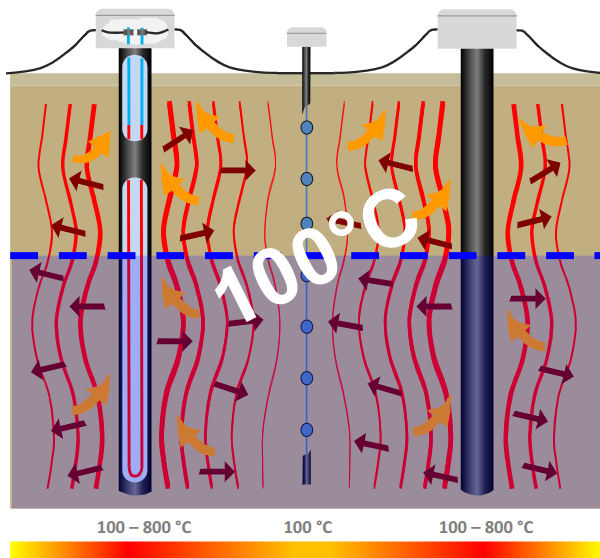


- Mættet og umættet zone
- Primært fordampning
- CVOC
- Lettere kulbrinter
- SVOC

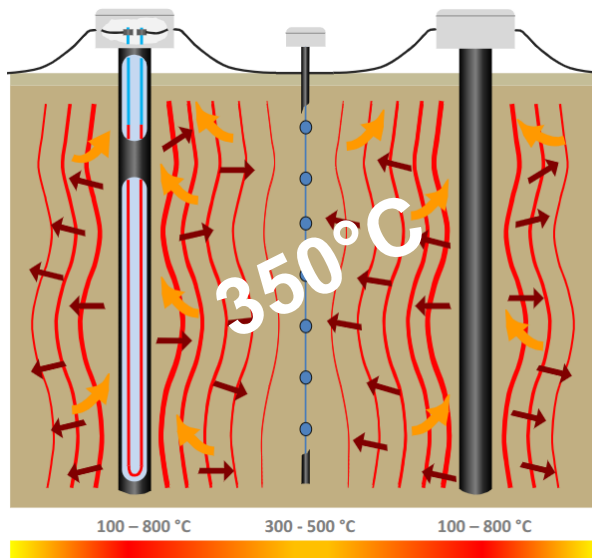


- Kun umættet zone eller on-site
- Fordampning af VOC'er
- Nedbrydning af tungere komponenter:
Tungere kulbrinter, PAH, PCB, dioxin,
pesticid (og PFAS)

TCH regimer



- Mættet og umættet zone
- Primært fordampning
- CVOC
- Lettere kulbrinter
- SVOC



- Kun umættet zone eller on-site
- Fordampning af VOC'er
- Nedbrydning af tungere komponenter
Tungere kulbrinter, PAH, PCB, dioxin, pesticid - (PFAS)

Eksempler på nedbrydning

Dioxin site i Vietnam:
Destruktion øget fra 60 - 75 %
til 90-97% ved langsommere
opvarmning

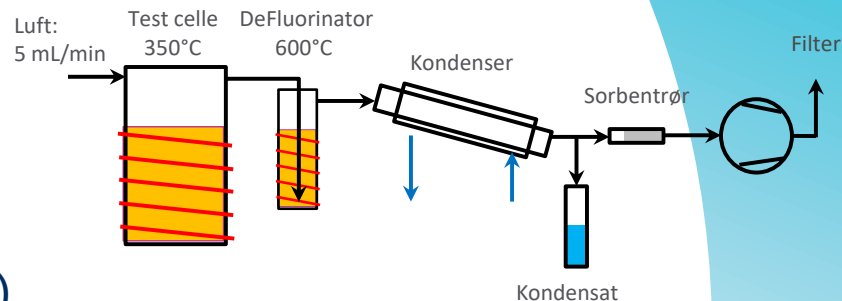
Pesticid pilot test: >99.9 %
destruktion ved kontrolleret
opvarmning

PFAS Lab skala resultater

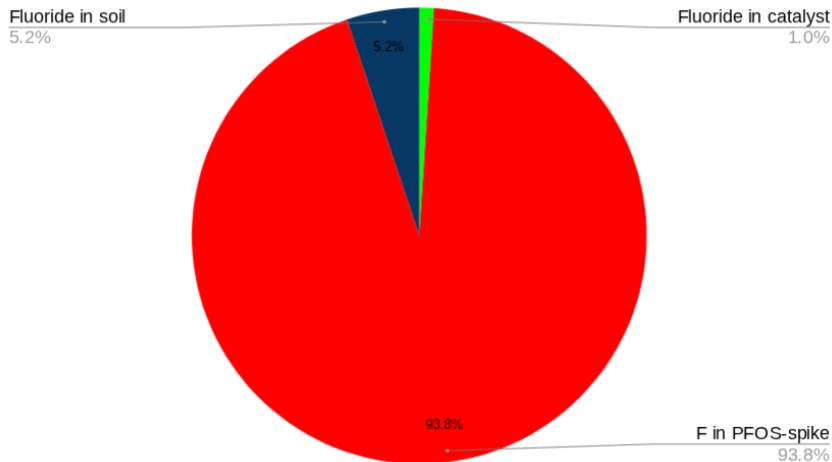
Termisk PFAS nedbrydning i jord

Neutrale PFAS fordamper

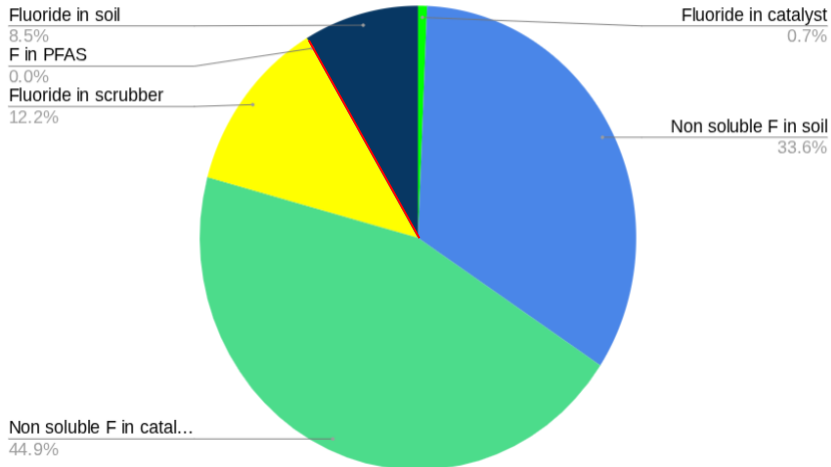
99,99% mineralisering af PFOS (200 mg/kg)



Before heat treatment



After heat treatment @ 350 degC for 7 days



PFAS er komplekst....

10 000+ PFAS stoffer

Lave koncentrationsniveauer få µg/kg og ng/L

Kemisk omdannelse ved opvarmning

Umoden måle- og analyseteknologi

- Grab samples - hvornår skal de tages?
- Ingen kommercielle anerkendte online målinger

Mangel på fælles forståelse og kriterier

- Fund af ikke regulerede stoffer uanset koncentration - hvad gør vi så?

Korsør

PFAS Pilot test



PFAS pilot formål - Krüger

Data og forståelse!

- Temperaturdata (rigelige ift. holdetid)
- Lavt flow $\Rightarrow$ Max koncentrationer at måle på
- Analyser - jo flere jo bedre

Transparens - tredjepart skal have adgang til procesdata og analyser for yderligere tolkning

PFAS pilot formål - Krüger

Optimere mineralisering ved at holde PFAS i jorden

- Minimal ventilation, langsom udtørring og lav heater temperatur

Minimere energiforbrug ved at anvende lavest mulig temperatur

Følge PFAS så detaljeret som muligt med alle tilgængelige analyser

- Target PFAS, TOPAssay,
- Non Target Screening (NTS)
- OTM 45 & OTM 50
- Real tids High Resolution MS

Procesdata Resultater



Temperaturer

I alt 50 målepunkter

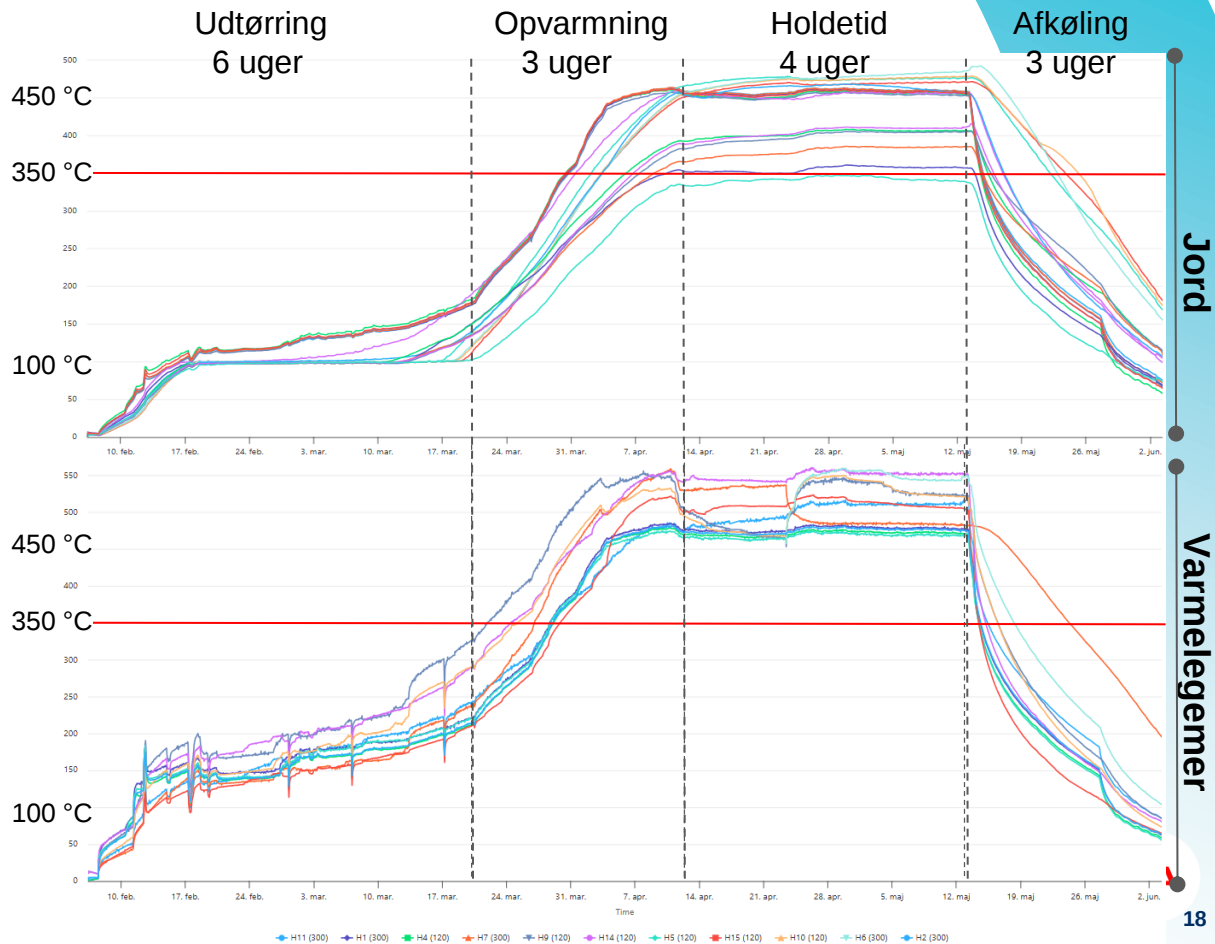
18 følere i “kolde” midtpunkter
i jord mellem varmelegemer

11 følere på varmelegemer

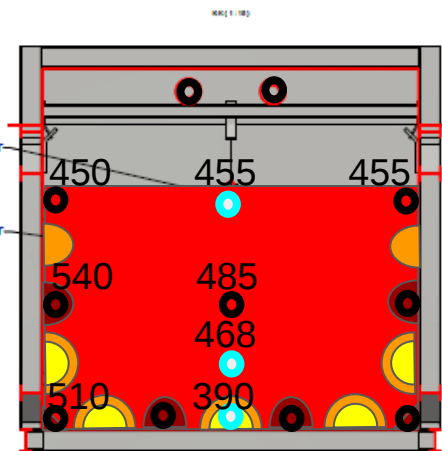
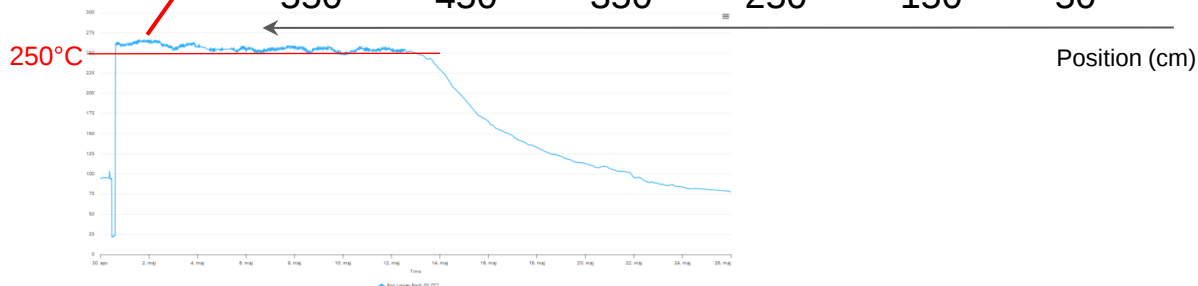
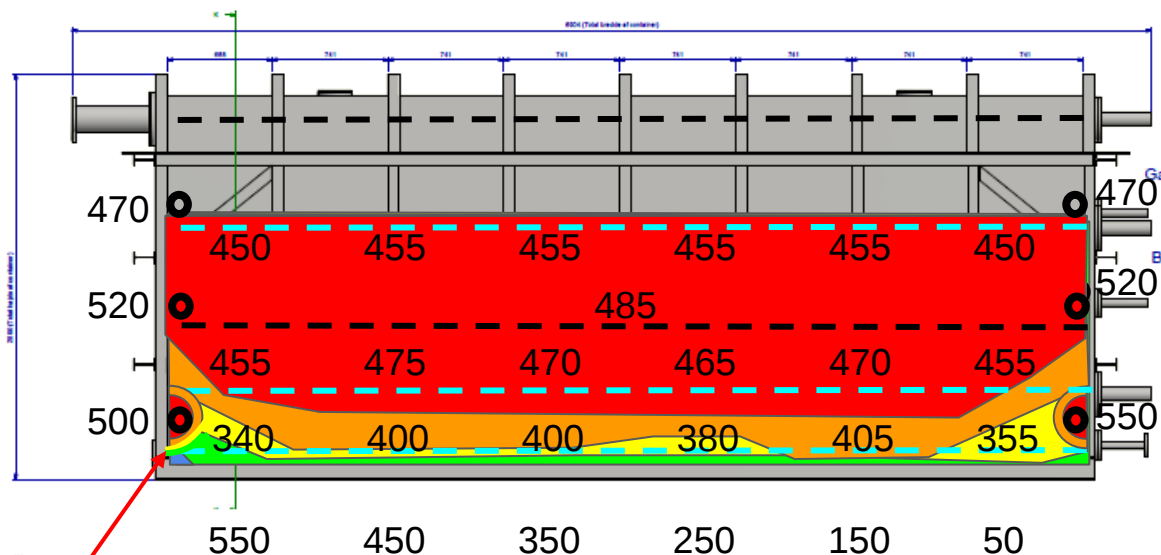
21 punkter på stålkassen



Behandlingsfaser

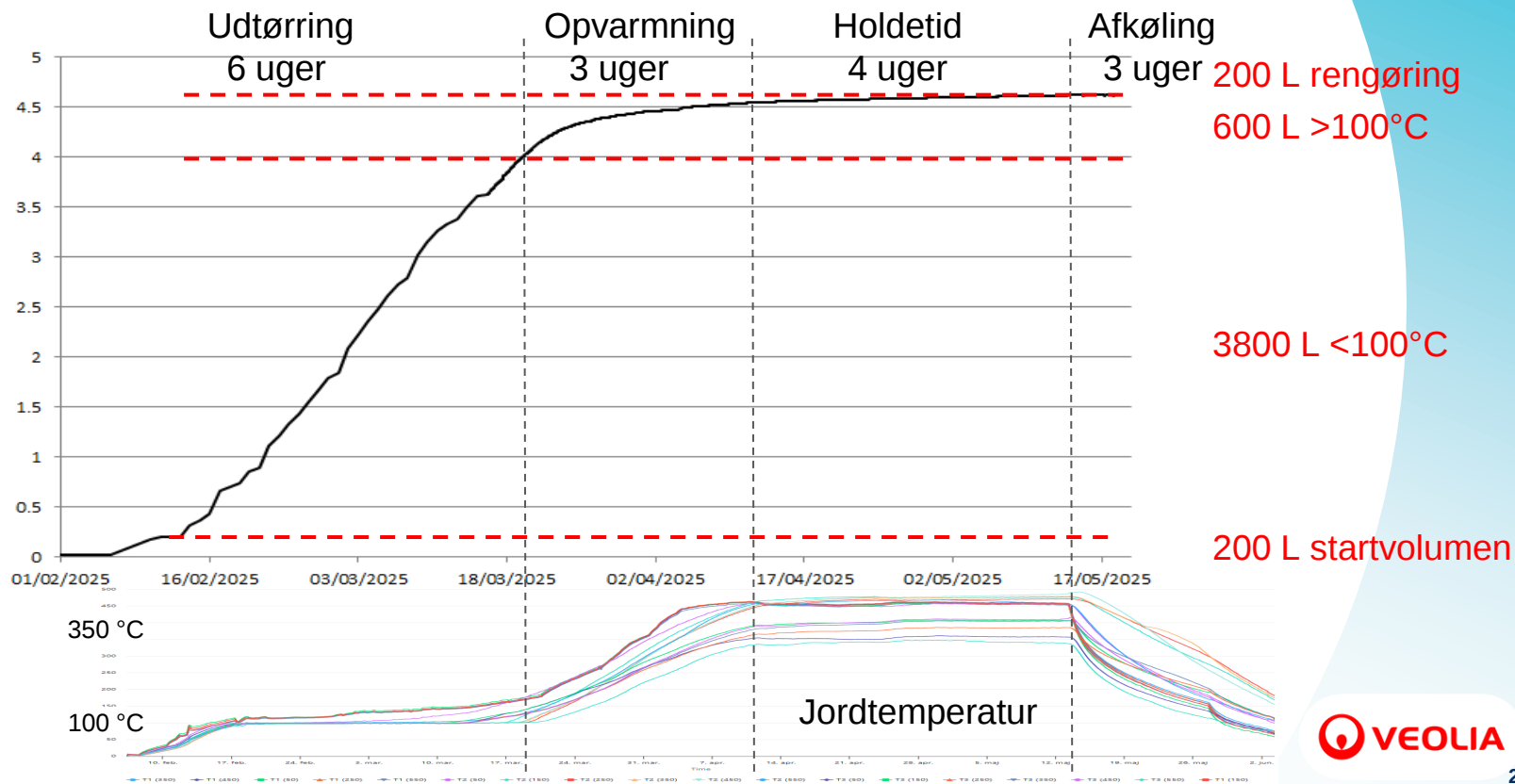


Temperaturer - holdetid



- - - Heater
- - - Temperature probe
- 250 - 300
- 300 - 350
- 350 - 400
- 400 - 450
- 450 - 500
- 500 - 550

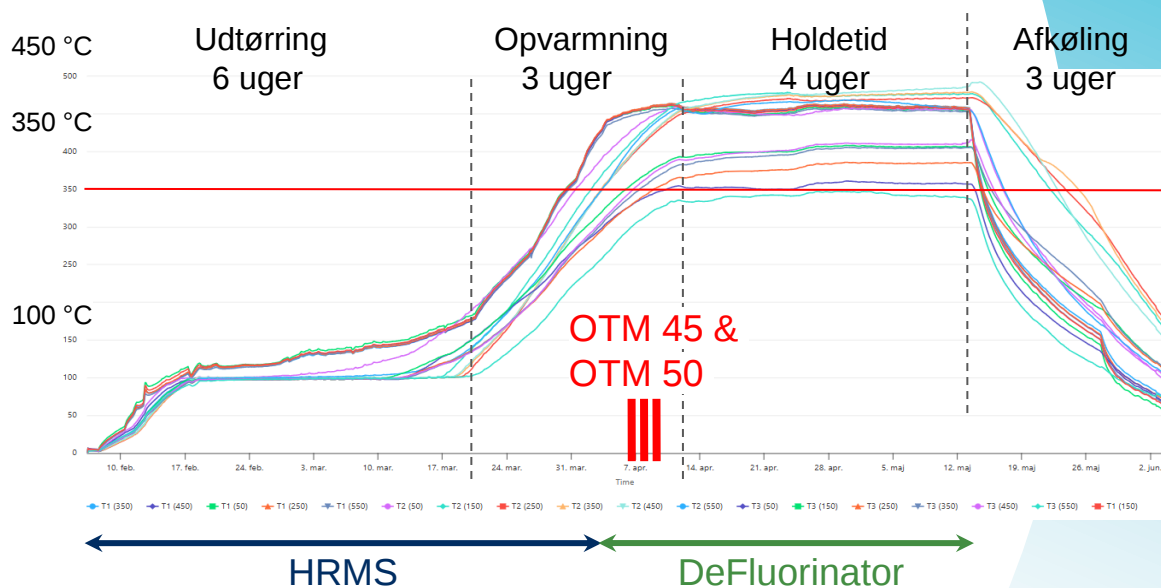
Opsamling af kondensat (4.800 l)



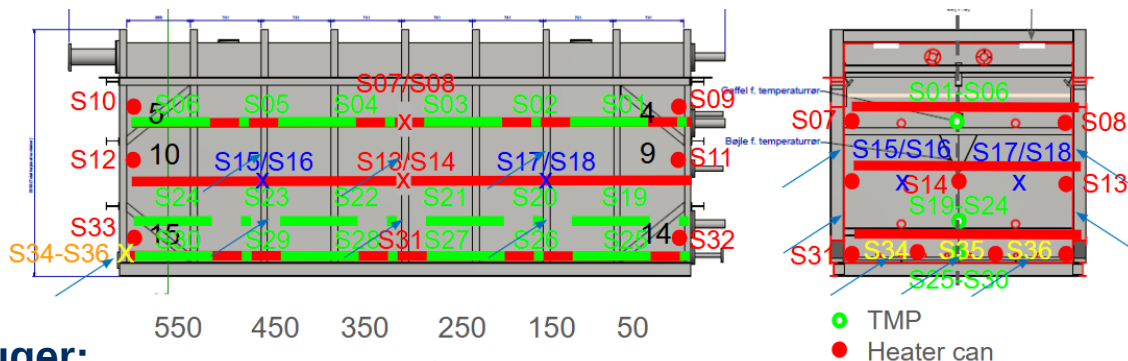
Gasanalyser og DeFluorinator



Behandlingsfaser



Jordprøver



≥ 340°C i 4 uger:

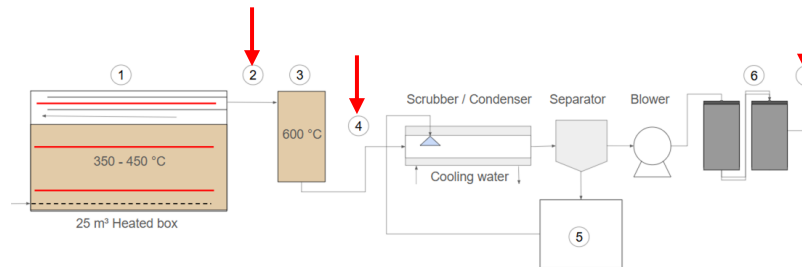
- 22 PFAS under 0,03 $\mu\text{g}/\text{kg}$ detektionsgrænse (33 prøver)
- 35 PFAS, TOPA og NTS under detektionsgrænse (2 blandeprøver)
- Udvaskningstest overholder drikkevandskriteriet

250-300°C i 4 uger (3 prøver):

- 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PFOS og 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PFHxS (start 120 hhv. 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$)
- Øvrige under 0,03 $\mu\text{g}/\text{kg}$ detektionsgrænse



Online analyser

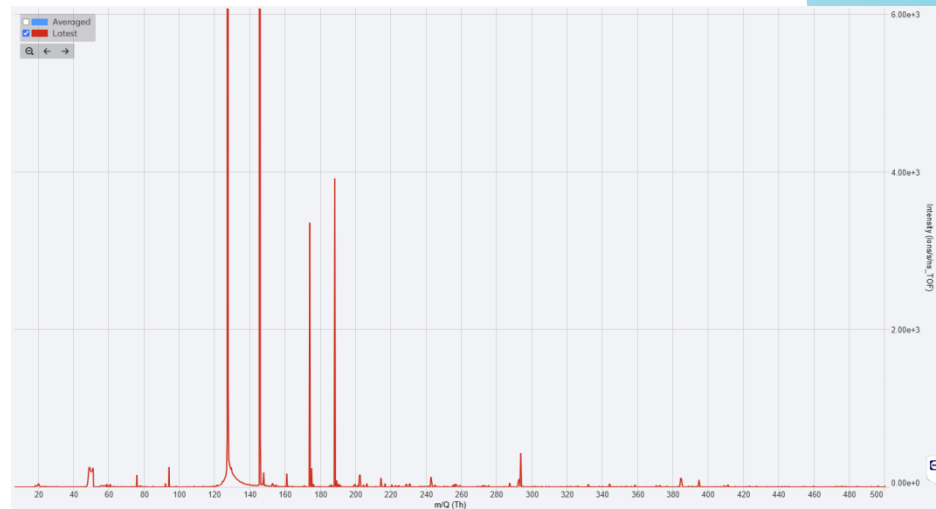


Realtime High Resolution MS

- HF, Carboxylsyre, PFCAs $\leq C7$ inkl. TFA !

Driftsudfordringer:

- Forurening, faldende følsomhed
- Tolkning og tilordning
- Kvantificering
- PFASs



Σ22 PFAS balance

Før behandling

31 ton jord
Σ22 PFAS: 190 µg/kg (6 g)
Udvaskning (L/S=2)
Σ22 PFAS: 12000 ng/L



Grøn el energi



PFAS reduktion i jord

>99.99% af Σ22 PFAS



Efter behandling

27 ton tør jord
Σ22 PFAS: <0.6 µg/kg
Leachability (L/S=2)
Σ22 PFAS: non detect



DeFluorinator

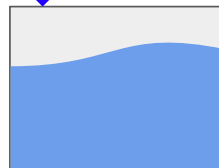
600°C

1 m³/h

GAC

Aktivt kul

100 kg GAC
Σ22 PFAS: 0.1 g
2% of total



Kondensat

4000 L
Σ22 PFAS: 0.0005 g
0.01% of total

*Alle tal er baseret på
pilotforsøget i Korsør*

PFAS skæbne

Før behandling

31 ton jord

85% PFOS^g

Σ22 PFAS: 12000 ng/L



Efter behandling

Ultra short
chain PFCAs

Σ22 PFAS: non detect

Grøn el energi



PFAS reduktion i jord

>99.99% af Σ22 PFAS



DeFluorinator

600°C

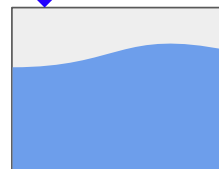
1 m³/h

Alifatisk PFAS

GAC

Aktivt kul

100 kg GAC
PFCAs^g
2% of total



Kondensat

PFCAs

Precursors

NT PFAS

Alle tal er baseret på
pilotforsøget i Korsør



Mod fuldskala

Piles bygget til projektstørrelsen



1.000 m³

1.000 - 45.000 m³
En / få batches
Mindre varmetab
Rimelig analysebyrde



45.000 m³



10.000 m³



Lidt at tænke over...



Ikke alle PFAS er lige

Forskellige nedbrydningsveje:

- Precursor, f.eks. 6:2 FTS → PFHxA
- Langkædet PFAS → H-Perfluoropentan and H-Perfluorohexan
- ?? → TFA + PFPrA

Fordampning:

- PFHxA: 10% vs. PFOS: 0.006%

Detektionegrænse i luft:

- H-Perfluoropentan: 35000 ng/m³ vs. PFOS: 0.08 ng/m³

Diskussionsoplæg

Oprensningskriterium? Udvaskning? Jordkoncentrationer? Udvaskning er relevant

Kan flere temperaturmålinger i jord erstatte/supplere analyser? Ja, udført korrekt

Emissionsmålinger? Luft iblanding? OTM 45 / OTM 50? Real tid? Procesvalidering?

Oxidation eller kulfiltrering?

- Er kondensat med 200 ng/L PFAS et problem? GAC Reaktivering/Forbrænding
- Er brugt GAC med 1 mg/kg PFAS et problem? Reaktivering/Forbrænding

Nedbrydningsprodukter: Ultra short chain PFAS, FVOC: Er de bekymrende? Tox?

Hvad med de løse ender?

- EOF i jord? Identifikation? Hårdere behandling?
- NTS? Næppe umagen værd på jord
- Fluor-balance? Ikke muligt ved lave PFAS koncentrationer

Tak

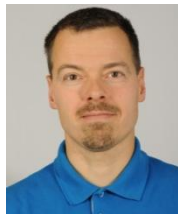
Miljøstyrelsen: Finansiering af pilot test

Region Hovedstaden: Administration og gode diskussioner

Tofwerk: HRMS support

Kolleger hos Krüger & Veolia

Er det hele historien? Nej!



Søren Eriksen
Project Manager
In Situ Thermal Solutions
soren.eriksen@veolia.com
+45 6037 0738



Mr. Niels Ploug
Sales & Product Manager
In Situ Thermal Solutions
niels.ploug@veolia.com
+45 2048 5963

Kom og diskuter med os!