

---

# Oprensning af PFAS-forurenet jord ved smouldering

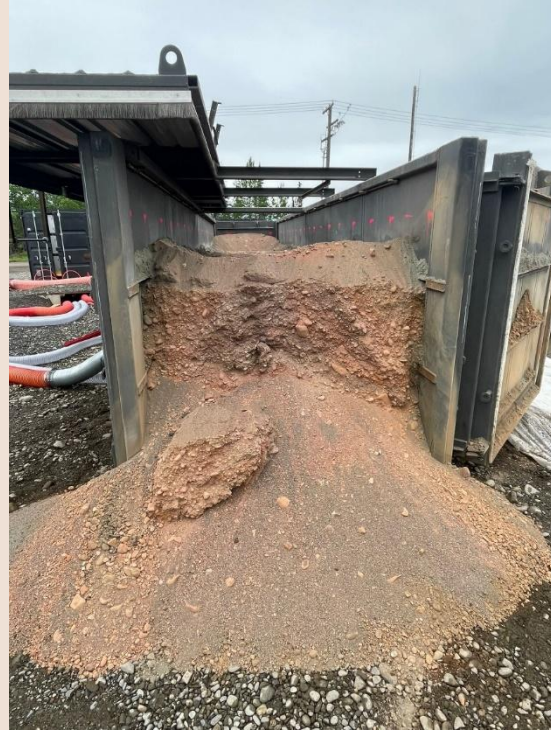
---

Morten Dreyer og Kirsten Rügge, COWI  
Warren Ferguson og Brian Harrison, Savron  
Neal D. Durant, Geosyntec



Foto: Beredskabets netavis

# Kolonneforsøg og demonstrationsprojekt

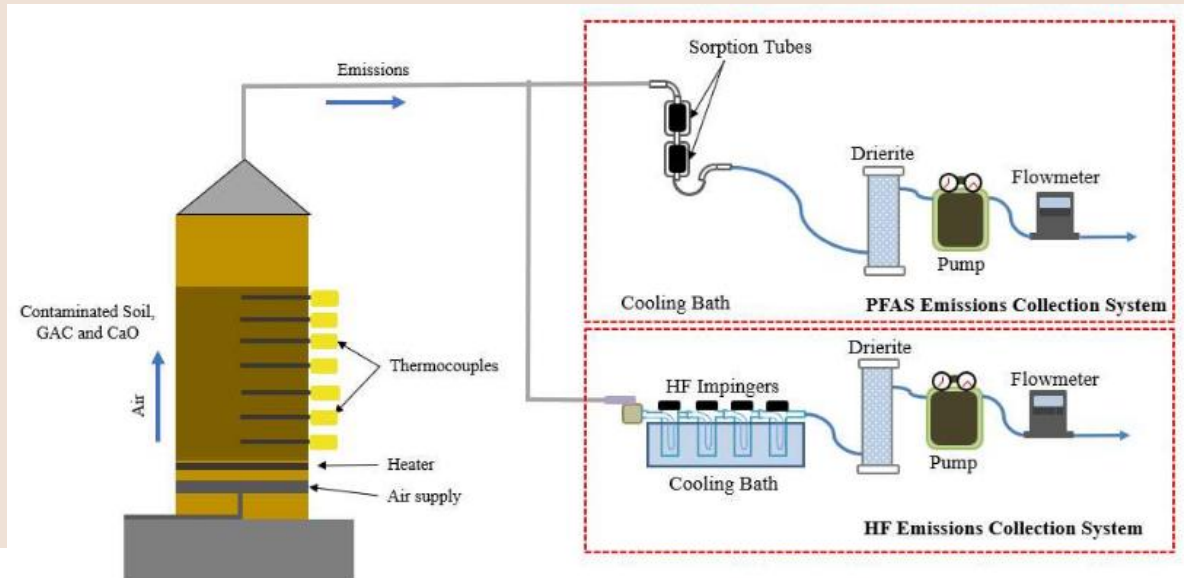


# Jord fra Oksbøl



# Metode

- Jord er blandet med GAC og CaO
- Der er opstillet kolonneforsøg med smouldring af PFAS
- Analyser af jord samt emissioner på GAC og fælder



# Resultater



- Forbrændingstesten viste stærk selvopretholdende ulmende forbrænding
- Den gennemsnitlige toptemperatur, der blev registreret for denne smouldering test, var 955 °C (851-1159 °C)
- Hastigheden af den ulmende front blev anslået til at være 1,04 cm/min (eller 0,62 m/t)

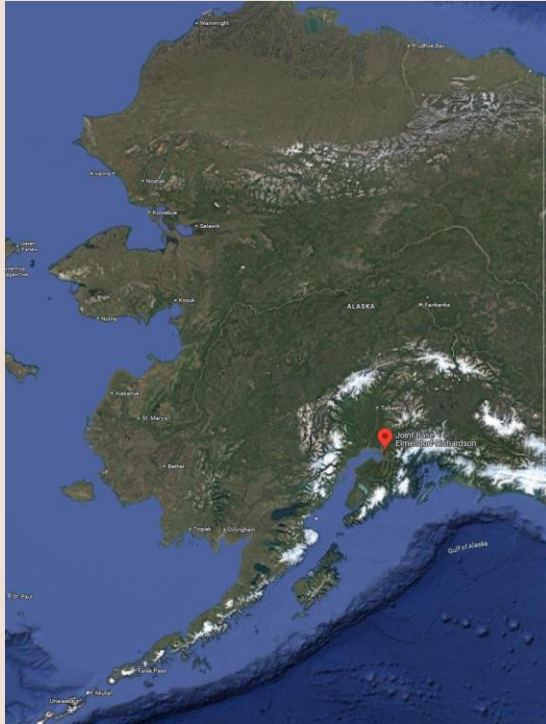
# Resultater

- Alle PFAS, der blev analyseret for, blev reduceret til under detektionsgrænsen efter behandling (smouldering)
- Den opsamlede mængde af hhv. uorganisk F (opsamlet som flussyre, HF), organisk F (fra PFAS) i gassen udgjorde kun ca. 5% af det totale indhold før behandling med smouldering

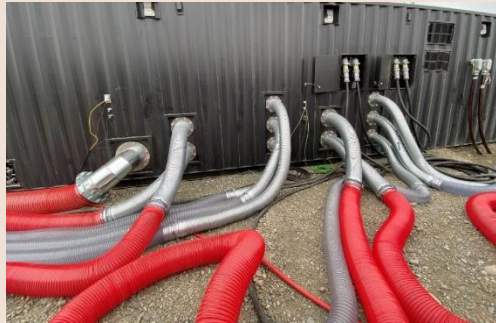
**Data indikerer minimale emissioner af PFAS, og at PFAS er effektivt destrueret under smouldering**



# Demonstrationsprojekt



# STARxpress







# STARxpress resultater

- 335 m<sup>3</sup> PFAS forurennet jord behandlet i 10 batches på ca. 14 dage
- Alle 10 batches behandlet til under succeskriterie sat af Alaska MST:
  - PFOS (3,0 µg/kg)
  - PFOA (1,7 µg/kg)
  - flere batches <MDL
- Sum 4 PFAS DK MST 10 µg/kg

# STARxpress resultater

- TOP assay efter oxidation viser gennemsnitligt total fluor reduktion på 99.5%
- <1% PFAS masse genfundet på GAC (emissioner)
- <0,1% PFAS masse genfundet som kondensat

| Analyte  | Pre-treatment (µg/kg) <sup>1</sup> | Post-treatment (µg/kg) <sup>1</sup> |
|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| Perfluorobutanoic acid (PFBA) (TOPA)                       | 1.55                               | 0.00                                |
| Perfluoropentanoic acid (PFPeA) (TOPA)                     | 7.85                               | 0.00                                |
| Perfluorohexanoic acid (PFHxA) (TOPA)                      | 3.15                               | 0.00                                |
| Perfluoroheptanoic acid (PFHpA) (TOPA)                     | 3.05                               | 0.21                                |
| Perfluorooctanoic acid (PFOA) (TOPA)                       | 2.58                               | 0.00                                |
| Perfluorononanoic acid (PFNA) (TOPA)                       | 0.71                               | 0.00                                |
| Perfluorodecanoic acid (PFDA) (TOPA)                       | 0.30                               | 0.00                                |
| Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS) (TOPA)              | 0.05                               | 0.00                                |
| Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) (TOPA)               | 1.98                               | 0.00                                |
| Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) (TOPA)                | 13.25                              | 0.00                                |
| 1H,1H,2H,2H-Perfluorooctane sulfonic acid (6:2 FTS) (TOPA) | 1.80                               | 0.00                                |
| 1H,1H,2H,2H-Perfluorodecane sulfonic acid (8:2 FTS) (TOPA) | 5.13                               | 0.00                                |
| 3-Perfluoropentylpropanoic acid (5:3 FTCA) (TOPA)          | 0.38                               | 0.00                                |
| 3-Perfluoroheptylpropanoic acid (7:3 FTCA) (TOPA)          | 0.66                               | 0.00                                |

<sup>1</sup>Average concentration of specific analytes in pre-treatment soil according to TOP assay following the oxidation step.

**Data indikerer minimale emissioner af PFAS samt at PFAS/ PFAS precursors er effektivt destrueret under smouldering**



# Konklusion


- Metoden er lovende til destruktion af PFAS i jord
- Bæredygtig metode:
  - Anvendt brugt GAC
  - Ingen PFAS affaldsfase
  - Relativt lavt energiforbrug
- W.Y.L.F.I.W.Y.F.
- Pris?
- Smouldering til EU? JA



Foto: Arla.dk

# Godnatlæsning

- Oprensning af PFAS-forurenet jord ved smouldering - Miljøstyrelsen

  
**Oprensning af PFAS-forurenet jord ved smouldering**

Miljøprojekt nr. 2283  
 December 2024

## Seneste nummer - Fagtidsskriftet Vand & Jord

### Oprensning af PFAS-forurenet jord

PFAS findes overalt i miljøet, både i luften som færdige opløst i vand. De findes i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere. Forureningen ligger her i den tekniske jord. Det forekommer, at der i nærmeste fremtid vil blive påført flere kilde af PFAS-forurenet jord, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.

Karsten Riis, Morten Dyrhøj, Morten Petersen, Mikkel Thomsen & Nicolai D. Dyrhøj

**Indledning**  
 PFAS (per- og polyfluoralkyler) består af en gruppe syntetiske kemikalier, der er kendt for deres evne til at bryde ned og modstandskraft overfor kemiske og termiske nedbrydning. De er derfor meget udbredte i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere, tekstiler og andre materialer. De kan findes i miljøet som færdige opløst i vand, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.



Figur 1: Foto af et smoulderingssite til oprensning af PFAS-forurenet jord (Morten Dyrhøj).

Indledning (fortsat): De per- og polyfluoralkyler (PFAS) er en gruppe syntetiske kemikalier, der er kendt for deres evne til at bryde ned og modstandskraft overfor kemiske og termiske nedbrydning. De er derfor meget udbredte i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere, tekstiler og andre materialer. De kan findes i miljøet som færdige opløst i vand, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.

Indledning (fortsat): De per- og polyfluoralkyler (PFAS) er en gruppe syntetiske kemikalier, der er kendt for deres evne til at bryde ned og modstandskraft overfor kemiske og termiske nedbrydning. De er derfor meget udbredte i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere, tekstiler og andre materialer. De kan findes i miljøet som færdige opløst i vand, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.

Indledning (fortsat): De per- og polyfluoralkyler (PFAS) er en gruppe syntetiske kemikalier, der er kendt for deres evne til at bryde ned og modstandskraft overfor kemiske og termiske nedbrydning. De er derfor meget udbredte i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere, tekstiler og andre materialer. De kan findes i miljøet som færdige opløst i vand, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.

Indledning (fortsat): De per- og polyfluoralkyler (PFAS) er en gruppe syntetiske kemikalier, der er kendt for deres evne til at bryde ned og modstandskraft overfor kemiske og termiske nedbrydning. De er derfor meget udbredte i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere, tekstiler og andre materialer. De kan findes i miljøet som færdige opløst i vand, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.



Figur 2: Foto af et smoulderingssite til oprensning af PFAS-forurenet jord (Morten Dyrhøj).

**Smouldering**  
 Smouldering er en proces, hvor brændsel brænder langsomt og kontinuerligt uden at udvikle store mængder røg og varme. Denne proces kan bruges til at nedbryde PFAS i forurenet jord. Den fungerer ved at opvarme jorden til en temperatur, hvor PFAS brydes ned i mindre, mindre skadelige forbindelser. Denne proces kræver nøje kontrol og overvågning for at sikre, at den fungerer effektivt og sikkert.

**Indledning (fortsat):** De per- og polyfluoralkyler (PFAS) er en gruppe syntetiske kemikalier, der er kendt for deres evne til at bryde ned og modstandskraft overfor kemiske og termiske nedbrydning. De er derfor meget udbredte i mange forskellige produkter, herunder brændeopbejldere, tekstiler og andre materialer. De kan findes i miljøet som færdige opløst i vand, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på at oprense disse forureninger, så de ikke spreder sig yderligere til grundvandet.



Figur 3: To eksempler på prøver af forurenet jord og udstyr til oprensning af PFAS-forurenet jord (Morten Dyrhøj).

# Ekstra slides

# STARxpress

## Energiforbrug

- Varmelegemet er den største strømbelastning
- Strømbelastningen falder drastisk når den selvopretholdende ulmende forbrænding opnås
- Smoldering average = 150 kWh/m<sup>3</sup> (335 m<sup>3</sup>)
- ISTD average = 260 kWh/m<sup>3</sup> (1530 m<sup>3</sup>)\*

# STARxpress Plantestudie

Uden tilførsel

Kompost

Gødning

1. juli 2024



21. aug 2024

