



PFAS DEMONSTRATIONSPROJEKTER EVALUERING

**BERTIL CARLSON
KATERINA TSITONAKI
THOMAS H. LARSEN**

ATV Vintermøde, marts 2026



PFAS demonstrationsprojekter

Evaluering

1. Opgravning og homogenisering af jorden
2. Kan termiske metoder oprense PFAS forurennet jord?
3. anbefalinger ift. analyseprogram
4. Massebalance fluor
5. Muligheder for opskalering
6. Perspektivering





Opgravning og homogenisering af jorden



Kan termiske metoder oprense PFAS forurennet jord?

Svaret er Ja! Begge termiske metoder opnåede gode resultater:

- 61,8 tons jord.
72 jordprøver udtaget og analyseret før og efter oprensningen.
- Før oprensning: PFAS 4: 73-183 µg/kg TS (primært PFOS)
- Alle jordprøver udtaget efter oprensningen opfyldte kriteriet for PFAS 4 på 10 µg/kg TS
- Der blev ikke detekteret indhold af PFAS i 66/72 jordprøver (detektionsgrænsen <0,03 µg/kg TS)
- 6 jordprøver udtaget i "kolde" områder ($T < 350\text{ °C}$) havde PFAS 4 på 0,1-3,6 µg/kg TS



Anbefalinger ift. analyseprogram

TOP:

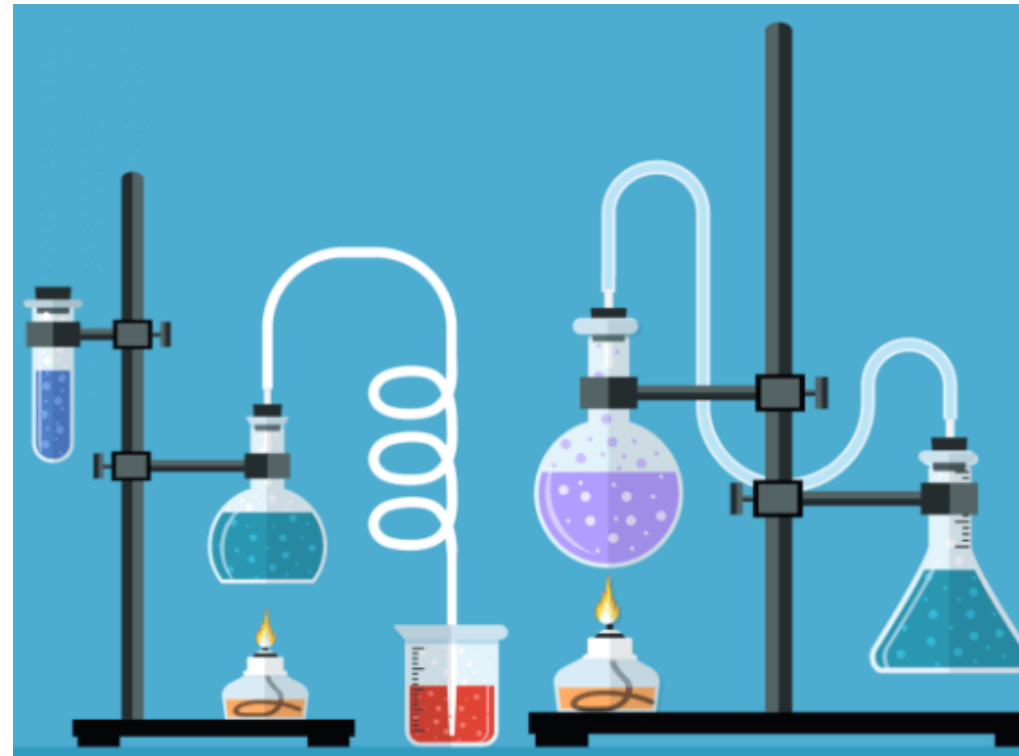
- TOP (Total Oxidizable Precursor) assay anbefales til forståelse af precursor transformation.

Extractable Organic Fluorine (EOF):

- EOF-analyse påviste uidentificerede organofluorforbindelser. Måling af EOF før og efter behandling bekræftede reduktion af organofluor forbindelserne.

Udvaskningstests:

- Udvaskningstests bekræftede en stor reduktion af mængden af opløselige PFAS i jorden efter behandling. Anbefales til evaluering af mobilitetsrisici for PFAS efter behandling, og dermed vurdering af genanvendelsesmuligheder for jorden.



Anbefalinger ift. analyseprogram

Non-Target Screening (NTS):

- NTS-analyse af jord før oprensning viste, at forbindelser fra PFAS 22 gruppen dominerede den samlede intensitet, især på grund af PFOS.
- NTS kan ikke anvendes til styring af proces / under drift. Analyserne er dyre og tidskrævende. Resultater foreligger først når oprensningen er afsluttet.

Air Emission Monitoring (OTM 45, OTM 50):

- Overvågning af luftemissioner ved hjælp af OTM 45 og OTM 50 gav indsigt i, hvad der sker med flygtige PFAS stoffer under behandlingen. Disse analyser indikerede, at PFAS stofferne blev destrueret (men detektionsgrænserne er forholdsvis høje).
- OTM målingerne er dyre og tidskrævende.



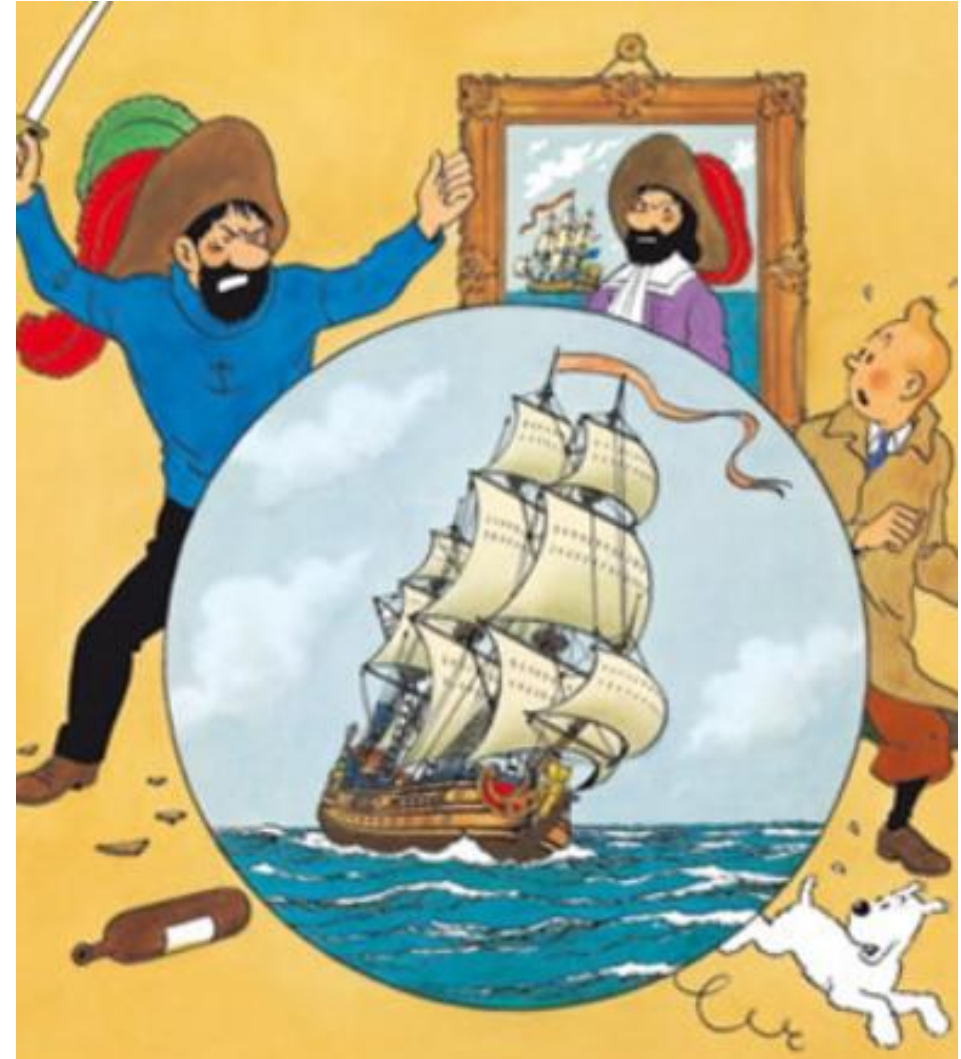
Hvad vejer Kaptajn Haddock?

En tænkt udfordring:

- Vi har ikke nogen vægt, måleudstyr eller analysemetode til at veje ham alene.

Metode:

- En mulighed kunne være at veje skibet og herefter veje skibet + kaptajnen.



Fluor massebalance

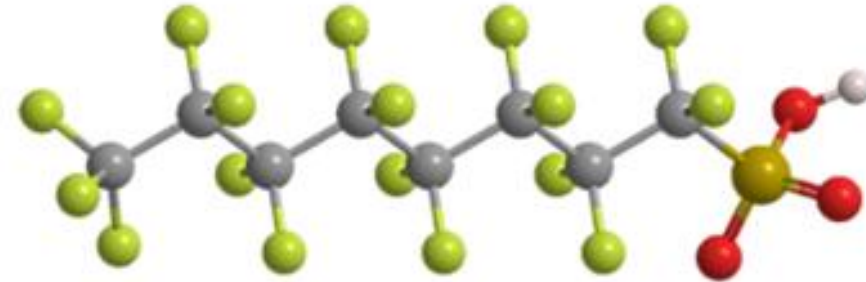
Udfordring:

- Mængden af fluor i PFAS molekylerne er meget mindre end mængden af fluor i jorden (udgjorde kun ca. 1 %)

Konsekvens:

- Vi kan ikke lukke fluor massebalancen og vi kan derfor ikke konkludere med 100 % sikkerhed at der sker fuldstændig destruktion
- Men stærke indicier på destruktion som følge af det omfattende monitorings- og analyseprogram

PFOS molekylet





Muligheder for opskalering

- Pilotforsøgene viste, at metoderne virker efter hensigten, og næste skridt er at teste i fuld skala. Det vurderes, at der er gode muligheder for opskalering.
- Fuldskala termisk oprensning af jord (>1.000 tons) i Danmark vil højst sandsynligt blive udført ved opgravning af jorden og efterfølgende termisk behandling af jordpartiet.
- Baseret på data præsenteret på et ATV-møde i november 2024 af Gorm Heron er der gode erfaringer med fuldskala projekter i USA. Projekter med op til 1.500 m³ jord er blevet udført med succes.
- Energiforbrug på omkring 450 kWh/m³. Det svarer til 250 kWh/ton.
- Pris ca. 500 euro/ m³. Svarer til ca. 2.000 kr. pr. ton jord.

Geologi:

- Kan både anvendes ift. lerjord og sandjord.

PFAS koncentrationer:

- Termisk oprensning for så vidt angår hotspots / kildeområder, hvor der er høje koncentrationer af PFAS i jorden. Det er ikke realistisk ift. lettere forurenede jord pga. omkostningerne.

Pris:

- Forventet pris i størrelsesordenen ca. 2.000 kr./ton for et fuldskala projekt (>1.000 tons jord).

Central plads til termisk oprensning:

- Miljøprojekt nr. 2299, marts 2025. Man estimerer 150.000-500.000 tons jord med PFAS over JKK i de næste 10 år.
- Eventuelt etablere termisk oprensning på en central modtageplads i Danmark.
- Lavere energiforbrug pr. ton jord ved store jordpartier.
- Undgå af skulle indhente myndighedstilladelser for hvert enkelt projekt.

Termisk vil sandsynligvis også kunne fungere for

- Rensning af PFAS forurenede filterkage efter jordvask?
- Rensning af PFAS forurenede slam?





Tak for jeres opmærksomhed