

Oprensning af PFAS i jord

Teknologiudviklingsprojekt for Miljøstyrelsen

Helena Hjørringgaard

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.



Projektet

Formål:

En gennemgang af hvilke teknologier der er på markedet i dag til at rense jord for PFAS. Projektet består af et litteraturstudie, en rundspørge og en bæredygtighedsvurdering. Ender ud med et beslutningstræ der tager højde for PFAS- og jordtype.

Deltagere:

Rambøll: Dorte Harrekilde, Gitte Søndergaard, Jette Kjøge Olsen, Cecilie Niekrenz, Karoline Petersen og Helena Hjørringgaard

Norecco

Miljøstyrelsen

Hvad kommer I til at høre om de næste 20 minutter?

INTRODUKTION	○ Hvorfor er projektet relevant, og hvordan fungerer oprensning?
UDFORDRINGER	○ Forskellige jordtyper og PFAS-forbindelser
TEKNOLOGIBESKRIVELSER	○ Immobilisering Elektrokemisk oxidation Forbrænding Jordvask Aktivt kul og ionbytning Omvendt osmose og nanofiltrering Skumfraktionering
SAMLET VURDERING	○ Vurdering af effektivitet, praktisk anvendelighed og økonomi
SLUTDISPONERING	○ Muligheder for at genanvende jorden
BÆREDYGTIGHED	○ Bæredygtighedsvurdering af teknologierne

Baggrund

- PFAS anvendes i mange produkter
- Der opdages flere og flere steder i Danmark hvor jord og grundvand er forurenet med PFAS
- PFAS er svært at rense da stofferne har stærke bindinger og forskellige fysisk-kemiske egenskaber
- Vi mangler effektive og bæredygtige løsninger til at rense jord for PFAS

... Alt er stadig nyt for os

Generelle bemærkninger - Metoder

	Destruktion	Koncentration
Jord	Kemisk oxidation Kemisk reduktion Elektrokemisk oxidation Forbrænding	Immobilisering
Vand	Superkritisk vandoxidation	Aktivt kul filtrering Ionbytning Omvendt osmose Nanofiltrering Skumfraktionering Jordvask

- Deponering
- Destruktionsmetoder
- Koncentrationsmetoder
 - Adsorption
 - Separation
- In-situ og ex-situ
 - Teknologier ex-situ er mere modne

Generelle bemærkninger – Valg af metode

	Destruktion	Koncentration
Jord	Kemisk oxidation Kemisk reduktion Elektrokemisk oxidation Forbrænding	Immobilisering
Vand	Superkritisk vandoxidation	Aktivt kul filtrering Ionbytning Omvendt osmose Nanofiltrering Skumfraktionering Jordvask

- Teknologier til at behandle vand er mere moden
- Ofte er det nødvendigt at kombinere flere teknologier – "Treatment train"
- De fleste studier undersøger effektiviteten overfor PFOS og PFOA, men ikke alle PFAS-forbindelser opfører sig ens

Generelle bemærkninger - Jordtyper

	Destruktion	Koncentration
Jord	Kemisk oxidation Kemisk reduktion Elektrokemisk oxidation Forbrænding	Immobilisering
Vand	Superkritisk vandoxidation	Aktivt kul filtrering Ionbytning Omvendt osmose Nanofiltrering Skumfraktionering Jordvask

- Adsorptionen af PFAS til organisk materiale er stor, hvilket vanskeliggør rensningen
- Det er usikkert hvor effektive teknologierne er overfor lerjorde
- Nødvendigt med flere forsøg i Danmark



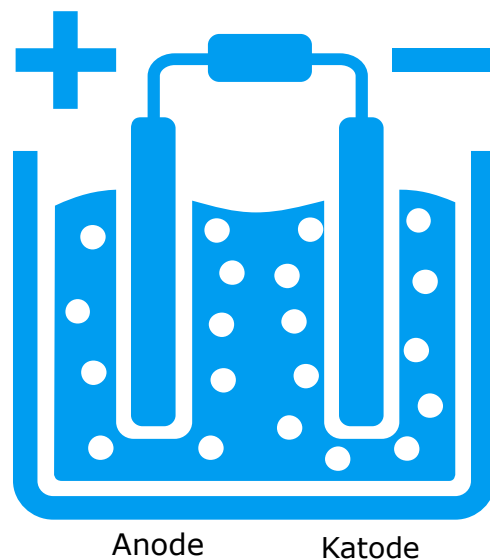
Immobilisering

- Hverken fjerner eller reducerer PFAS-indholdet i jorden
- Jorden tilsættes adsorbanter som PFAS binder sig til
- Adsorptionen virker bedst hvis:
 - PFAS er langkædet og indeholder en sulfatgruppe
 - Lavt indhold af organisk stof i jorden
- Studier har vist at MatCare® og Rembind® kan reducere udvaskningen med 99% af PFOS

Fordele	Ulemper
Kommercielle produkter er på markedet i dag	Fjerner ikke PFAS fra jorden
Der er udført fuld-skala forsøg	Langtidseffekten kendes ikke
Kræver ikke en videregående behandling	
Kan være in-situ	

Elektrokemisk oxidation

Oxidation:
 $\text{PFOX} \rightarrow \text{F} + \text{CO}_2$



- Der påtrykkes en spændingsforskel mellem to elektroder, hvor PFAS oxideres
- Kalk og andre ioner i grundvand påvirker ikke effektiviteten
- Jo større strømdensitet, jo mere fjernes
 - Ved høj intensitet kan >90% af PFOA og PFOS fjernes
- Ved lav intensitet er det fundet at 52% fjernes for PFOA og 33% for PFOS. Store variationer i rensegrader

Fordele	Ulemper
Bruger ingen kemikalier	Kan danne kortkædede PFAS og andre biprodukter såsom hydrogenfluorid og tungmetaller
Kræver ikke høje temperaturer	Elektroder er dyre og har et højt energiforbrug
In-situ, men i mættede jorde	Igangværende tests ikke succesfulde

Forbrænding

- Forbrænding foregår ved at PFAS udsættes for temperaturer $>1000^{\circ}\text{C}$
- Metoden destruerer PFAS effektivt
- Det undersøges, om lavere temperaturer i længere tid også kan fjerne PFAS ligeså effektivt

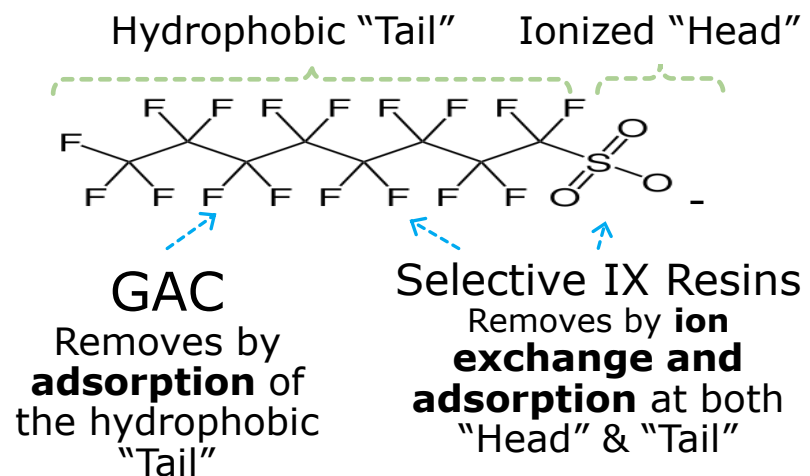
Fordele	Ulemper
PFAS destrueres	Meget energitungt og dyrt
Effektiv fjernelse	Der mangler viden om hvorvidt der emitteres PFAS i røggassen

Jordvask

- Mobiliserer PFAS til væskefasen, som herefter kan behandles
- Kan gøres ved tilsætning af polymerer eller overfladeaktive stoffer
- Mest effektiv hvis indholdet af ler og organisk stof er lavt
- Varierende effektivitet for PFOS ved in-situ og ex-situ på hhv. 23-73% og 11-62%
- Et andet studie fandt at PFOS reducereret med 84%

Fordele	Ulemper
Kan foregå in-situ og ex-situ	Mangler bedre metoder til lerjord og jorde med meget organisk stof
Metoder til fjernelse af PFAS i væskefasen er mere modne og effektive	Er ikke effektiv overfor kortkædede forbindelser
Danner ikke andre forurenede stoffer	Ikke så mange studier på stor skala (mere konsistente resultater)
Jorden kan efterfølgende nyttiggøres	Restprodukter skal behandles/bortskaffes

Aktivt kul og ionbytning



- Adsorption af PFAS på aktivt kul eller resiner
- Andre adsorptionsmedier kan benyttes f.eks. Fluoro-Sorb
- Resiner er mere effektive end aktivt kul, og kræver færre udskiftninger
- Begge metoder kan opnå høje fjernelsesgrader af langkædede PFAS
- Design af systemet er styret af de kortkædede forbindelser, da de er sværere at fjerne

Fordele	Ulemper
Moden teknologi	Kræver udskiftning af aktivt kul og/eller resiner
Kan samtidig fjerne andre forurenede stoffer fra grundvandet	Kræver destruktion af aktivt kul og/eller resiner efterfølgende
Der findes kommercielle produkter på markedet i dag	Er ikke så effektivt overfor kortkædede forbindelser (især aktivt kul)
	Kræver forbehandling

Omvendt osmose og nanofiltrering

- Vand presses igennem en membran ved højt tryk
 - Nanofiltrering: 1-10 nm i porestørrelse
 - Omvendt osmose: <1 nm i porestørrelse
- Der er konsensus om at omvendt osmose fjerner >99% af PFAS
- Nanofiltrering fjerner 92-98% af PFAS, og er mest effektiv overfor langkædede forbindelser
- Nanofiltrering er mindre energikrævende end omvendt osmose

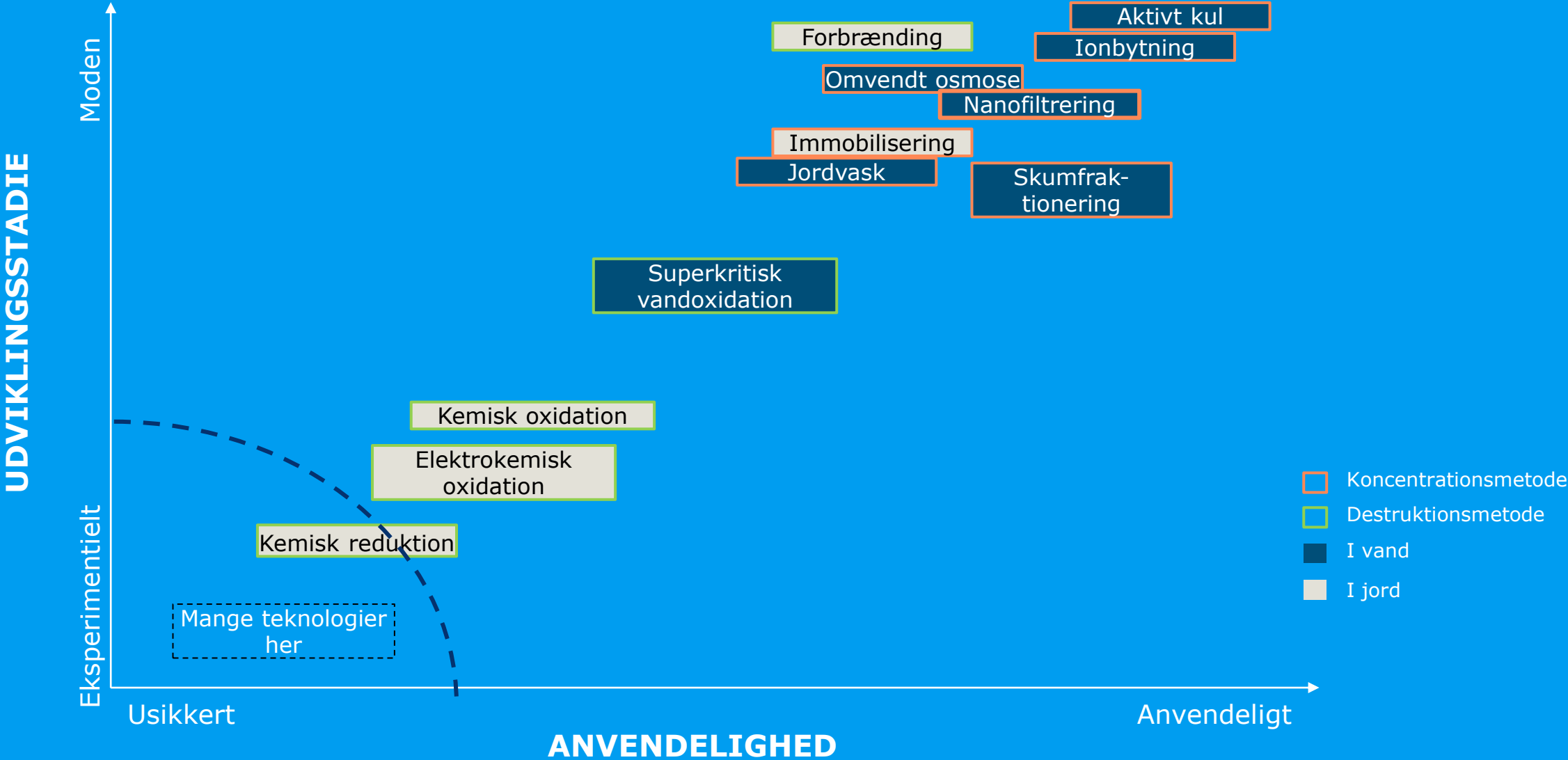
Fordele	Ulemper
Teknologierne er velkendte	Kræver meget energi (særligt omvendt osmose) og er dyrt
Der findes anlæg i dag, dog ikke specifikt til PFAS	Kræver destruktion af retentatet efterfølgende
Effektiv fjernelse	Kræver en forbehandling af vandet for at undgå tilstopning
Teknologierne bliver hele tiden billigere og billigere	Membranerne er dyre

Skumfraktionering

- Ved skumfraktionering blæses luft op i gennem vand, hvorved PFAS opkoncentreres i skummet
- Tre tanke i serie kan opkoncentrere PFAS i skummet med 870.000 gange, og reducere 40.000 m³ grundvand til 10L skum
- Er meget effektiv overfor langkædet forbindelser, men ikke for kortkædede

Fordele	Ulemper
Kræver ingen kemikalier eller høje temperaturer	Kræver destruktion af skummet efterfølgende
Lavt energiforbrug	Er ikke effektiv overfor kortkædede forbindelser
Kræver ingen eller lille forbehandling	
Danner en lille affaldsmængde	

Der kommer hele tiden nye teknologier – om et år kan det se anderledes ud!



	Status	Pris	Effektivitet
Immobilisering			
Elektrokemisk oxidation			
Forbrænding			
Jordvask			
Aktivt kul filtrering			
Ionbytning			
Nanofiltrering			
Omvendt osmose			
Skumfraktionering			

Slutdisponering

- Der er få jordbehandlingsanlæg der modtager PFAS-forurenede jord i dag
- Det er usikkert i hvor grad jorden efterfølgende vil blive genanvendt, selvom det er blevet rensset
 - Mangler viden
 - Vil der stadig være en høj udvaskning til grundvandet?
- Det økonomiske/bæredygtige incitament til at anvende teknologierne til at rense jorden mistes, hvis den ikke efterfølgende genanvendes

Bæredygtighedsvurdering og beslutningstræ



... Dette er vi i gang med

Bright
ideas.
Sustainable
change.

The Ramboll logo consists of the word "RAMBOLL" in a bold, sans-serif font. A blue checkmark is positioned over the letter "O". The logo is contained within a white rectangular box.

Helena Hjørringgaard

hhd@ramboll.dk