



Dansk teknologi, der nedbryder PFAS og minimerer miljøbelastning

Lindholst, S.; Jama, Y.; Rickers, C. K.; Svendsen, T.; Cai, Z.; Hjalholt, L.; Chhetri, Ravi Kumar; Andersen, Henrik Rasmus; Barlindhauge, J.; Hansen, M. G.

Total number of authors:

14

Published in:

Spildevandsteknisk Tidsskrift

Publication date:

2021

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Lindholst, S., Jama, Y., Rickers, C. K., Svendsen, T., Cai, Z., Hjalholt, L., Chhetri, R. K., Andersen, H. R., Barlindhauge, J., Hansen, M. G., Petersen, S. K., Zaar, C. H., Andersen, J., & Boye-Hansen, S. (2021). Dansk teknologi, der nedbryder PFAS og minimerer miljøbelastning. *Spildevandsteknisk Tidsskrift*, 21(1), 52-54. https://issuu.com/spildevandsteknisktidsskrift/docs/spildevand_1_2021web

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

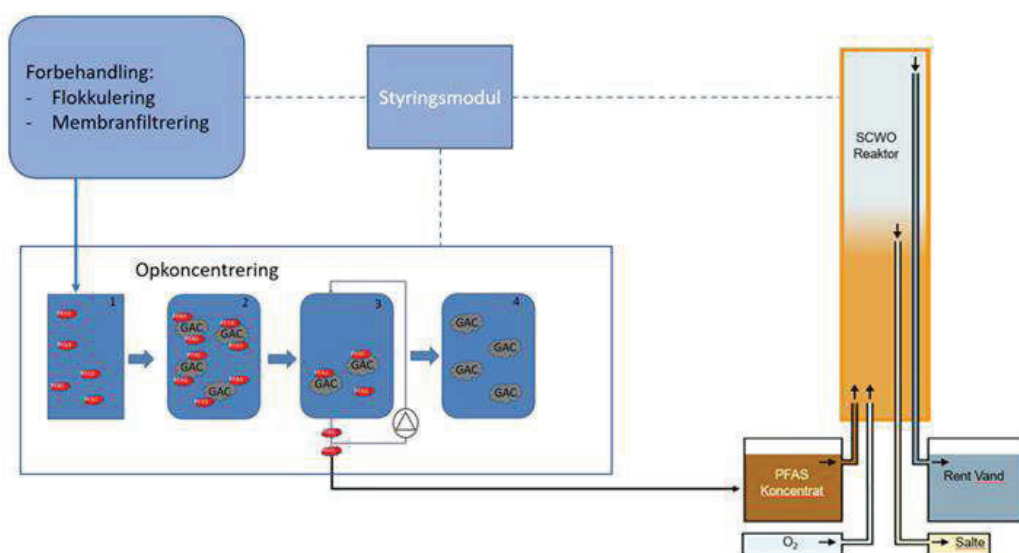
Dansk teknologi, der nedbryder PFAS og minimerer miljøbelastning

Perfluorerede forbindelser, også kaldet PFAS, er sundhedsskadelige og meget persistente stoffer, som i stigende grad detekteres i vandmiljøet. PFAS-forbindelser indgår blandt andet i forskellige typer af imprægneringsmidler og fra brandslukningsskum. Gængse oxidationsteknologier kommer imidlertid til kort, når stofferne skal nedbrydes, og det problem vil et nyligt bevilget projekt "PFAS-inator" nu løse - både økonomisk og bæredygtigt.

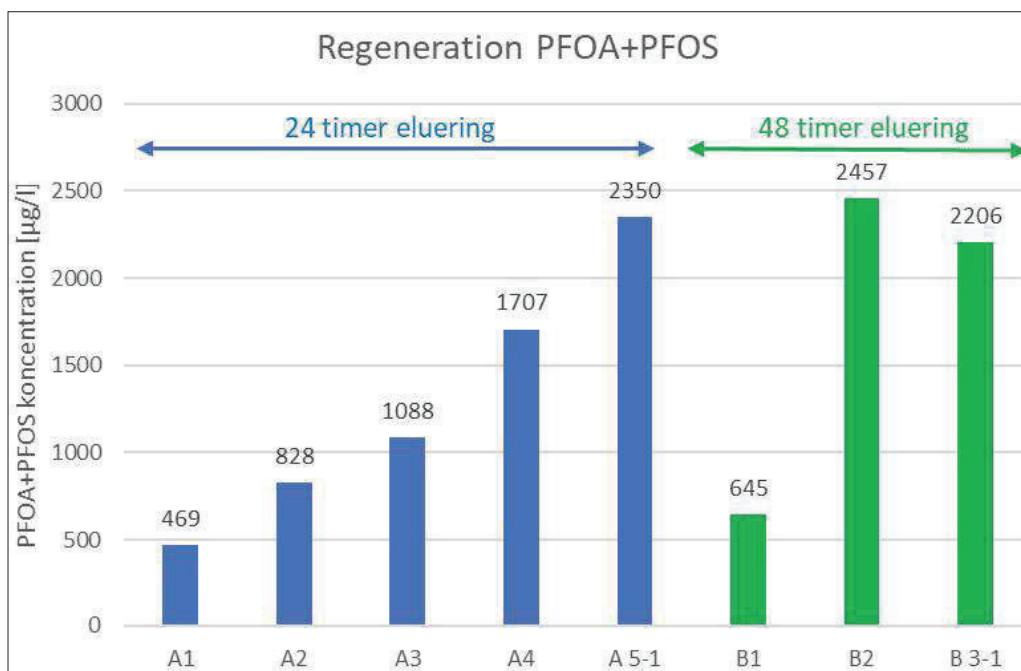
TEKST: SABINE LINDHOLST, YUSUF JAMA, CAROLINE KRAGELUND RICKERS, TEKNOLOGISK INSTITUT TORE SVENDSEN, ZHUOYAN CAI, AQUARDEN TECHNOLOGIES | LENA HJALHOLT, ARGO RAVI K. CHHETRI, HENRIK R. ANDERSEN, DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET JOHN BARLINDHAUGE, PERPETUUM, NORGE | METTE GULDBORG HANSEN, FORS SVEND KOFOED PETERSEN, EDEN AQUATECH, SVERIGE | CARSTEN H. ZAAR, NOMI4S JACOB ANDERSEN, HJØRRING VANDSELSKAB | STEFFEN BOYE-HANSEN, H2O NORDIC

Udfordringen

I tråd med FN's 6. verdensmål er der behov for fortsat fokus på at mindske udledningen til vandmiljøet af miljøfremmede stoffer. Det kan være for eksempel lægemidler og pesticider, men også fluorerede forbindelser udgør en trussel mod vores recipienter. PFAS omfatter en stor gruppe lang- og kortkædede fluorerede forbindelser, som er svært nedbrydelige, også med gængse oxidationsteknologier som ozonering og avanceret oxidation. PFAS-forbindelsernes smudsafvisende og brandhæmmende egenskaber er blandt andet blevet anvendt til imprægnering af tekstiler og tæpper og som komponent i maling og i brandslukningsskum til bekæmpelse af oliebrande (jetdiesel, benzin og diesellole). PFAS-forbindelsers påvirkning af menneskekroppen bliver blandt andet sat i forbindelse med udvikling af nyrsecancer, skader i leveren, overvægt, forkortet graviditet, lav fødselsvægt og lav immunrespons på børnevaccinationer (Grandjean, 2014), og senest kom PFAS-forbindelser også i søgelyset som mulig årsag for svære Covid-19 sygdomsforløb (Grandjean, 2020). PFAS-forbindelser er detekteret overalt: I spildevand og slam, i perkolat samt i grundvand fra blandt andet flyvestationer og beredskabet (Goldenman, 2019, Avinor, 2019). Håndtering af PFAS-holdigt vand fra lufthavne og deponier sker i Sverige og Norge i dag ved brug af aktivt kul, der adsorberer PFAS-forbindelserne. Det forurenede kul transporteres efterfølgende til for eksempel Holland, hvor det afbrændes ved høje temperaturer for at sikre, at PFAS-forbindelser og biprodukter destrueres. Denne håndtering er ikke bæredygtig og afsætter et kraftigt CO₂-aftryk, da det aktive kul ikke kan regenereres (NIRAS og Rambøll, 2018). Derfor er det vigtigt at udvikle en lokal anvendelig, mere bæredygtige teknologi til fjernelse og destruktion af PFAS-forbindelserne.



Figur 1: Teknologikoncept til fjernelse af PFAS-forbindelser ved brug af SCWO med forskellige forbehandlingstrin og opkoncentrering på adsorbent - eksempelvis granuleret, aktiveret kul (GAC = granulated activated carbon).



Figur 2: Regenereringsforsøg med granuleret, aktiveret kul på PFAS-forurenede vand. Adsorptionsbetingelserne på kullet var identiske i alle forsøg. I 24 timers-elueringsforsøget gennemløb nyt kul 5 adsorptioner/desorptioner (A1 til A5-1), i 48 timers-forsøget blev 3 cykler testet på nyt kul (B1 til B3-1). Kolonnerne viser PFOA+PFOS-koncentrationen i eluaterne.

Destruktion af organiske persistente stoffer ved brug af SCWO-teknologien

Aquarden Technologies har igennem 10 år udviklet SCWO-teknologien (superkritisk vand oxidation), som helt kan nedbryde persistente organiske forbindelser som for eksempel PFAS og pesticider til CO_2 , vand og en smule syre i den superkritiske atmosfære (550 °C, 250 bar), der dannes i SCWO-reaktoren. Salte og tungmetaller udfældes i processen og kan dermed fjernes fra vandet. Teknologien er meget effektiv til destruktion af for eksempel PFAS (> 99,9%); dog vil en opkoncentrering af PFAS fra det forurenede vand på for eksempel aktivt kul eller et resin sikre en fordelagtig behandlingspris. Teknologikonceptet til fjernelse af PFAS er vist i Figur 1.

Forprojekt med proof-of-concept

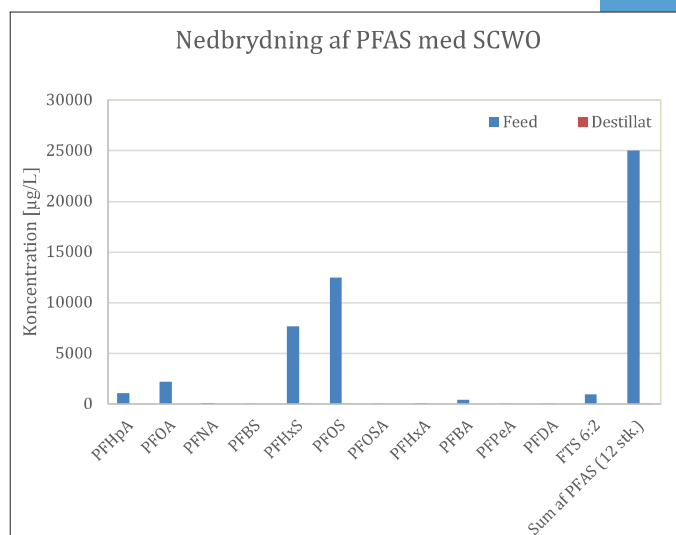
I et InnoMT-projekt har Aquarden Technologies, DTU og Teknologisk Institut arbejdet på udvikling af en adsorptions-/desorptionsmetode med GAC (granuleret, aktiveret kul) og forskellige desorptionsmidler (ethanol og methanol) til opkoncentrering af PFAS-forbindelser fra overfladevand fra lufthavne (Arlanda og Rygge). Formålet var at opnå højest mulig opkoncentrering af PFAS i desorptionsmidlet, samt regenerering af adsorbenten, så denne kan genbruges flere gange. Granuleret, aktiveret kul (GAC) blev valgt som adsorbent, da det i Norge og Sverige i vid udstrækning bliver brugt til rensning for PFAS-forbindelser, herunder til rensning af perkolat fra deponier og afløbsvand fra lufthavne. I projektet blev der afprøvet forskellige eluenter til regenereringsforsøg med det granulerede, aktiverede kul. Et eksempel på et sådant forsøg med ethanol som eluent for PFOA og PFOS er vist i Figur 2.

En indkøringseffekt af kullet ses ved de første to forsøg, idet adsorptionen her er væsentligt lavere. Desuden ses en tydelig indflydelse af elueringstiden

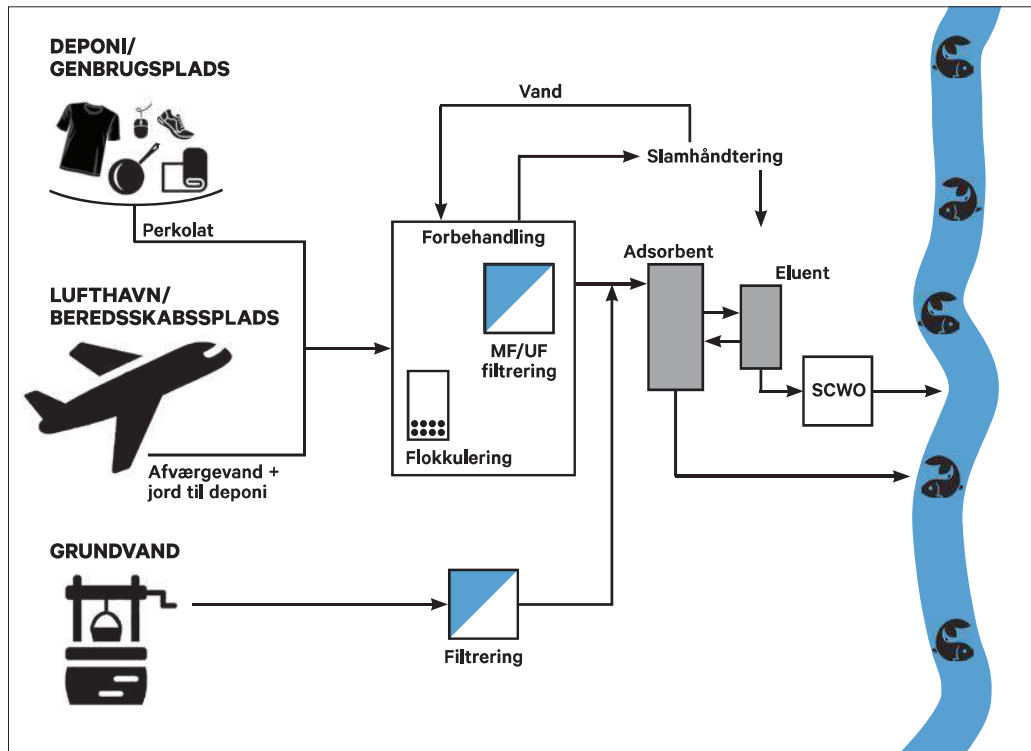
på effektiviteten af regenereringen. Forsøget viste, at der kunne opnås en opkoncentrering af PFAS med en faktor 1.000 i eluatet i forhold til koncentrationen i vandet. Disse lovende resultater fra forforsøget gav anledning til at søge et MUDP-projekt, som blev bevilliget af Miljøstyrelsen i december 2020.

Projektet PFAS-inator

I MUDP-projektet PFAS-inator bliver der udviklet et bæredygtigt og kosteffektivt teknologikoncept til fjernelse af PFAS-forbindelser fra perkolat og drænvand fra jorddeponier. Der vil blive arbejdet med de to forskellige vandtyper: 1) perkolat fra Audebo-deponi med forventet lavere indhold af PFAS, men med en kompleks sammensætning af andre stoffer og 2) drænvand fra PFAS-forurenede jord fra Perpetuum-jorddeponi, som indeholder større koncentrationer af PFAS-forbindelser. Disse



Figur 3: Fjernelse af ekstremt høje PFAS-koncentrationer, som kan forventes på resinerne. Alle tilstedeværende PFAS-forbindelser blev reduceret med mindst 99,7%.



Figur 4: Plan for behandling af de forskellige PFAS-holdige vandtyper.

vandtyper stiller forskellige krav til forbehandlings- og opkoncentrationsteknologierne inden den efterfølgende SCWO-behandling, idet den organiske belastning har stor betydning for adsorptionen. I projektet bliver der derfor identificeret de mest kosteffektive forbehandlingsmetoder (flokkulering, sedimentation og membranfiltrering), inden den efterfølgende adsorption til for eksempel aktivt kul. Et fokus i projektet er identifikation af en selektiv adsorbent, der effektivt kan tilbageholde de kortkædede PFAS-forbindelser, der i dag ofte forårsager gennembrud i kulfiltrene. Den identificerede PFAS-mættede adsorbent med meget høje PFAS-koncentrationer kan eventuelt også destrueres direkte i et SCWO-anlæg. Dog kan meget høje PFAS-koncentrationer give tekniske udfordringer grundet dannelse af flus- og svovlsyre i SCWO-reaktoren. Disse udfordringer bliver adresseret i projektet. Indledende forsøg med destruktion af høje PFAS-koncentrationer i vand er vist i Figur 3. Alle PFAS-forbindelse i vandet blev fjernet med mindst 99,7%.

De forskellige behandlingsscenarier, som projektet vil arbejde med, er skitseret i Figur 4.

De udviklede teknologikoncepter bliver efterfølgende testet i pilotskala på Audebo Miljøcenter - ARGO med lavere PFAS-koncentrationer, men med en kompleks blanding af andre stoffer i vandet, og ved jorddeponier hos det norske Perpetuum, hvor vandet forventes at have højere PFAS-koncentrationer. På baggrund af de opnåede data bliver der for hver vandtype udarbejdet en styringsmodel, som integreres i de endelige skitseprojekter.

For yderligere information, kontakt gerne Tore Svendsen fra Aquarden Technologies eller Caroline Kragelund fra Teknologisk Institut.

Referencer

- Grandjean P et al. (2014). Changing interpretation of human health risks from perfluorinated compounds. *Public health reports*, vol. 129: (6), pp. 482–485.
- Grandjean, P et al. (2020). Severity of COVID-19 at elevated exposure to perfluorinated alkylates, *PLOS Biology Collection*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244815>
- Goldenman G. et al (2019), The cost of inaction, The Nordic council of Ministers, <http://dx.doi.org/10.6027/TN2019-516>
- Niras og Rambøll (2018), Håndbog om undersøgelse og afværge af forurening med PFAS-forbindelser, Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, Teknik og administration, Nr. 2 2018
- Avinor, Rapportering for del 1 og del 2 av Miljødirektoratets pålegg: "Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner, Oppdragsnr.: 5185352 Dokumentnr.: Miljø-02 Versjon: J01 Dato: 2019-08-22, https://avinor.no/globalassets/_konsern/miljo-og-samfunn/pfos/harstad-narvik-lufthavn/2019_samlet-vurdering-av-pfas-forurensning-ved-avinors-lufthavner_del-1_del-2.pdf