Dit branchemagasin fra TechMedia A/S

Dansk Kemi

Nummer 1 - Februar 2025 / 106. årgang

Kemisk Forening - Kemiingeniørgruppen

Nyt initiativ i kemisk retskrivning

Korrosions-beskyttelse sikrer længere levetid til havvindmøller

Malingsteknologi baner vej for solcelledrevne undervandsdroner

Intelligent Chemistry
Biolab A/S Automation Specialist

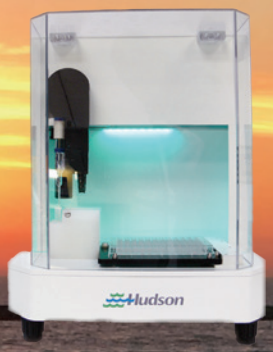
Biolab A/S Custom Solutions
Liquid dispensing - Vial handling - Measurement of weight- pH - and a lot more...

JASCO
Advanced Spectroscopic & Purification Solutions

SP Scientific
Automated Sample Concentration - Freezedrying

Gilson and Hudson Robotics Inc.
Advanced Automation solutions.

Rheosense - Viscosity on 15ul
Advanced Viscosity profiles



The only limitation is your imagination

Biolab A/S
Sindalsvej 29
DK-8240 Risskov
+45 8621 2866
sales@biolab.dk
www.biolab.dk

INDHOLD

1 **Forside**
Solceller kan fungere under vand, men en udfordring er, at der vil ske begroning. Forskere er lykkedes med at formulere en maling til undervandssolceller, som sikrer, at effektiviteten af et solcellepanel ikke påvirkes over en periode på 3 måneder. Læs mere i artiklen på side 6.
Foto: Modificeret materiale fra Wikimedia.

10 **Offshore vindmøllefundamenter med lang levetid**
Vindmøller på hav giver mange udfordringer i forhold til korrosion. Forskningsgruppen CoaST på DTU arbejder løbende på at udvikle nye malingsprodukter med bedre egenskaber.

14 **Kan klor i havet danne skyer?**
Aerosolpartikler kan bidrage til skydannelse og dermed virke afkølende på jorden og spille en vigtig rolle for klimaet. Kvanteberegninger kan give ny information om skykernedannelse fra havets klorforbindelser.

16 **Bliv fri for begroning: Del 1**
Første del af miniserie om begroning og dets konsekvenser.

19 **Machine Learning i den danske procesindustri**
Projekt undersøger potentialet af at anvende Machine Learning-løsninger til at optimere industrivirksomheders produktionsprocesser og opnå energibesparelser.

22 **Nybrud i kemisk retskrivning**
Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg og Dansk Sprognævn vil nu sikre et harmonisk fælles syn på nomenklaturanbefalingerne.

25 **Margrethe Bose, en kvinde i tidlig fysisk kemi**
På trods af at hun var en pioner, har den danske kemiker Margrete Bose ikke modtaget meget opmærksomhed i sit hjemland.

27 **Klimagasserne CO_2 og metan agerer helt forskelligt**
Da klimaeffekten fra CO_2 og metan er markant forskellig, rejses der spørgsmål ved den nuværende fælles beregningsmetode, som IPCC har udviklet.

30 **Besøg på Hauchs Physiske Cabinet**
Beretning fra Dansk Selskab for Historisk Kemis sommerudflugt til Hauchs Physiske Cabinet i Sorø.

31 **Tyske forskere gør nye opdagelser om glyphosat**
Studier af tidsserier af glyphosat og dets transformationsprodukt aminomethylphosphonsyre (AMPA) indikerer hidtil ukendte kilder af glyphosat, der muligvis indebærer brug af vaskemiddeltilsætningsstoffer.

TechMedia

Naverland 35
2600 Glostrup
Telefon 43 24 26 28
info@techmedia.dk
www.techmedia.dk

Redaktion:
Professor Hanne Christine Bertram (ansvarshavende)
hcb@techmedia.dk
Professor Søren Kiil
sk@kt.dtu.dk
Ph.d. Kristian B. Krogh
kbk@novozymes.com
Professor Henrik Skov
hsk@envs.au.dk
Maria Bech Poulsen
mabp@envs.au.dk

Ledelse:
Adm. direktør Peter Christensen
Direktør Rikke Marott Schelde

Redaktionskomité:
Professor Anne S. Meyer (formand)
Professor, dr. scient. Mikael Bols
Professor Morten J. Bjerrum (Kemisk Forening)
Lektor, ph.d. Peter Szabo (Kemiingeniørgruppen)
Lektor, civilingeniør, ph.d. Merete Norsker Bergsøe
Vibeke Richter Foërsom (Næstformand, Kemilærerforeningen)
Chefkonsulent Helle Westphal
Gruppeleder, EHS, FMC site Rønland Inge Margrethe Jensen
Fagkonsulent Mette Malmqvist

ISSN 0011-6335 (tryk)
ISSN 1902-360x (online)

Bladsekretær:
Heidi Thode
Tlf. 43 24 26 62, ht@techmedia.dk

Annoncer:
Tanja Wulff Dühring
Tlf. 43 24 26 06, twd@techmedia.dk

Annonceproduktion:
Marianne Dieckmann
Tlf. 43 24 26 82, md@techmedia.dk

Layout: Trine Plass
Tryk: PE Offset A/S

Oplag: 4.190
Online læsere: 1.279

Abonnement:
Bestilling og ændring/opsigelse sendes til abonnement@techmedia.dk

Trykt på miljøvenligt papir med vegetabilske miljøfarver.

Miljømærket tryksag 5041 0309

Citater fra artikler i Dansk Kemi skal ske med tydelig kildeangivelse. Enhver form for gengivelse af artikler, herunder illustrationer, forudsætter udgiverens skriftlige tilladelse. Redaktionen kan ikke påtage sig ansvaret for materiale, der indsendes uopfordret.

Læs bladet online:
www.danskkemi.dk

Se også: www.kemifokus.dk

Eller find Dansk Kemi på:

Scan og hent Dansk Kemis medieinformation 2025 her!
Scan med kameraet på din smartphone.

Ren C7H5N3O6 under væksten

Danmark står over for en alvorlig udfordring, når det gælder uddannelsen af fremtidens eksperter inden for naturvidenskab, ingeniørvidenskab og it. Hvis ikke der rettes op på de politiske beslutninger om at reducere i optaget på universiteterne, vil det ramme en lang række vækstindustrier. Det gælder også den kemiske industri, levnedsmiddelindustrien, biotech-industrien, miljø og farma - for bare at nævne nogle.

Udsigten til færre studiepladser er særdeles højt spil, og vi risikerer med stor sandsynlighed at miste vores konkurrenceevne i det globale kapløb om innovation og teknologisk udvikling. Dette er bekymrende i lyset af de komplekse udfordringer, Danmark står over for.

For mens der lægges op til at fjerne i omegnen af hver tiende studieplads på STEM-området, peger tallene paradoksalt nok på en stigende interesse blandt unge for blandt andet ingeniøruddannelser. Ved sommerens optagelse var civilingeniøruddannelserne de mest søgte, mens diplomingeniøruddannelserne lå på en fjerdeplads. Alligevel var optaget stort set uændret fra året før, hvilket er et tydeligt tegn på, at der er barrierer, som forhindrer, at udbuddet matcher efterspørgslen. Det rejser spørgsmålet, om systemet er gearet til at imødekomme de samfundsmæssige behov for flere STEM-uddannede.

> Uden et tilstrækkeligt antal uddannede kandidater risikerer Danmark at sakke bagud i udviklingen af løsninger på de store samfundsudfordringer, vi står over for

Ifølge en prognose, udarbejdet af IRIS Group og HBS Economics, vil Danmark i 2030 mangle 13.000 kandidater inden for ingeniør-, it- og tekniske fag. Hertil kommer et underskud på 7.000 personer med mellemlange uddannelser inden for samme områder. Denne mangel risikerer at forstærke problemerne i både den private og offentlige sektor, hvor der allerede i dag er pres på at finde kvalificeret arbejdskraft.

Uden et tilstrækkeligt antal uddannede kandidater risikerer Danmark at sakke bagud i udviklingen af løsninger på de store samfundsudfordringer, vi står over for. Evnen til at håndtere klimaudfordringer, styrke cybersikkerheden og sikre bæredygtige energisystemer afhænger af, at vi har de nødvendige kompetencer til rådighed. For at sikre dette er det afgørende, at politikerne tager ansvar og prioriterer uddannelsesområdet.

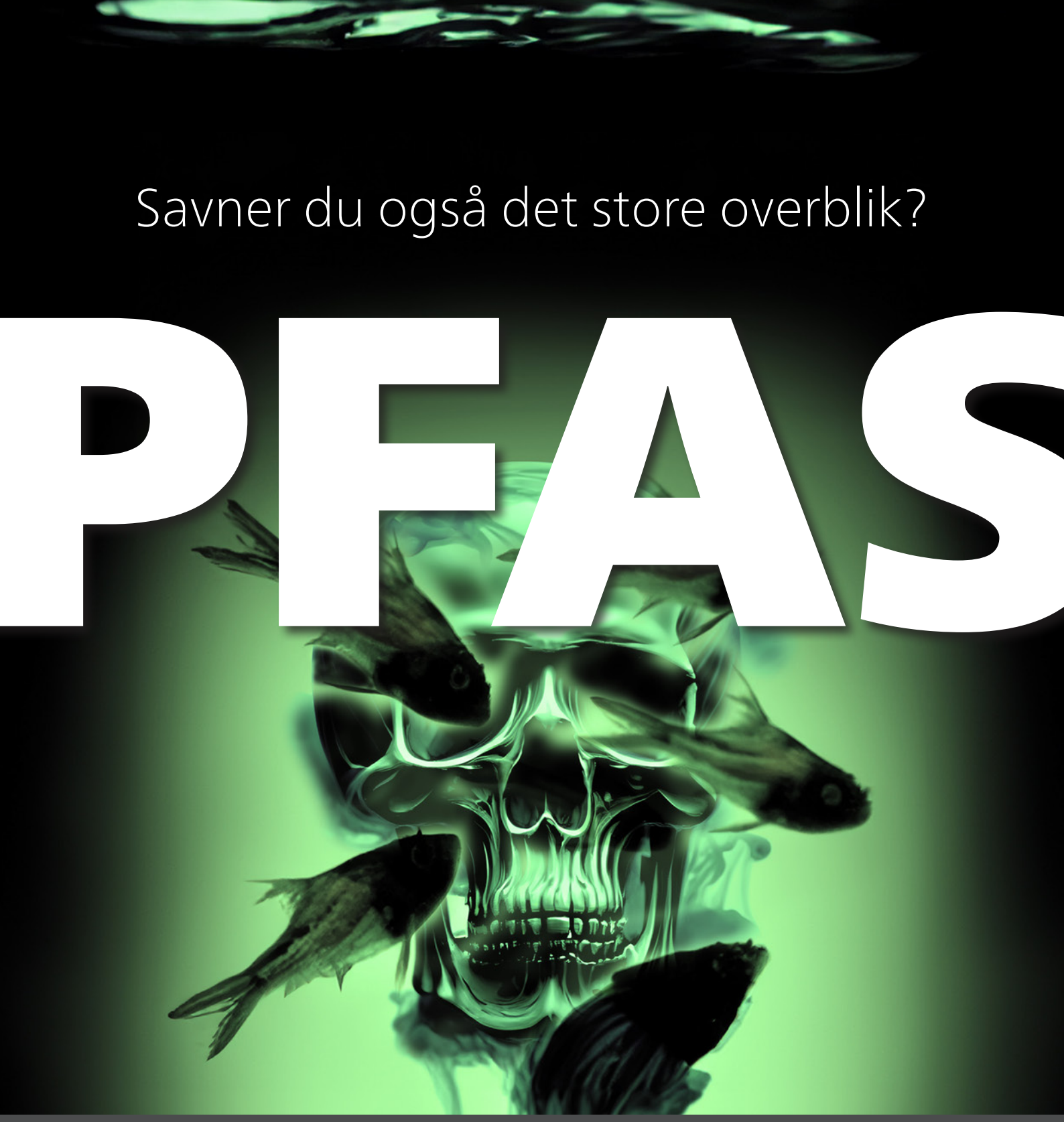
Er den politiske ambition, at der skal uddannes færre kemikere? Er intentionen, at færre skal hjælpe med design og fremstilling af avancerede materialer til elektronik, farmaceutiske produkter, fødevarer og kosmetik, der ofte resulterer i patenter og konkurrencefordele? Er tiden kommet til, at Danmark skal uddanne færre, der optimerer produktionsprocesser, reducerer omkostningerne, energi- og ressourceforbruget samt minimerer vores affald?

Danmark har potentialet til at være førende inden for teknologi og innovation, men det kræver en målrettet indsats. Investering i uddannelse og justering af de eksisterende rammer er nødvendigt for at sikre, at vi ikke blot følger med udviklingen, men også er med til at sætte dagsordenen. Hvis vi ikke handler nu, risikerer vi at svække fundamentet for fremtidens vækst og velfærd.

Laura Klitgaard, formand, Ingeniørforeningen, IDA

Savner du også det store overblik?

PFAS



Med Combustion IC (CIC) får du den totale mængde PFAS i dine prøver.
Med mere end 10.000 forskellige PFAS er det vigtigt at få det fulde billede.

Få hurtige og pålidelige resultater - **for alle PFAS.**
Med CIC efter den nye standardmetode DIN-38409-59 får du:
Selektiv bestemmelse af AOF, AOCl, AOBr og AOI i forskellige vandprøver
AOF som en hurtig, ikke-målrettet screening for PFAS'er
Effektivt system med meget lidt vedligeholdelse
Let at bruge, robust og pålideligt

Metrohm

Malingsteknologi til undervandssolceller

Solceller fungerer under vand, men uden beskyttelse gror panelerne til. Kan man designe en maling, som lader sollys passere, samtidig med at den holder sig fri for alger og rurer?

Af Søren Kiil, Narayanan Rajagopalan og Claus E. Weinell, The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Center (CoaST), DTU Kemiteknik

Undervandsdroner, alt efter typen, opererer i kortere eller længere tid i verdenshavene. Anvendelserne spænder fra udforskning af havbunden (inklusiv geopolitiske formål for eksempel i Arktis), over foranstaltninger mod miner til overvågning og inspektioner. Fremdriftssystemet, sensorer og kameraer er drevet af batterier, som lades op, når dronen lægger sig i overfladen med et eller flere solpaneler vendt mod lyset. Den optiske effektivitet er imidlertid svær at opretholde over en længere periode, fordi alger, bakterier, rurer og tang vokser ind på panelerne. På samme måde er planer om elektrisk udstyr og solcelleparker under vand, det såkaldte *Internet of Underwater Things*, afhængige af begroningshæmmende foranstaltninger [1].

En fordel ved undervandssolceller er, at de holdes nedkølede ved en stabil temperatur og opnår højere effektivitet end ved en landplacering. Desuden undgår man støv og ekskrementer på panelerne; at optage landbrugs- eller rekreative arealer, og at bygninger eller beplantning skygger for sollyset. Til gengæld er de sværere at komme til, skal kunne holde til stærk havstrøm, og altså være begroningsfri.

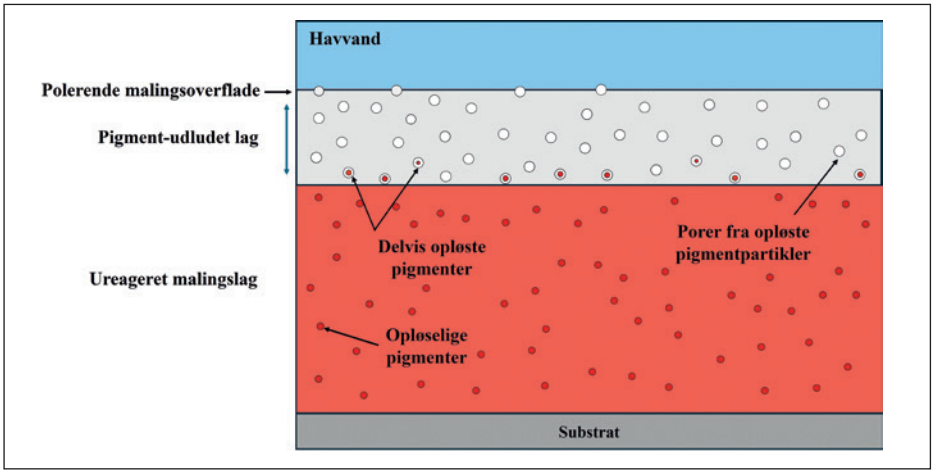
Solceller til brug under havoverfladen er en lidt anderledes teknologi end dem på land, fordi man kun udnytter synligt lys, da ultraviolet og infrarød stråling henholdsvis spredes og absorberes af vand. Under meget klare forhold kan solceller fungere ned til 30 meter, men mere normalt vil det være at placere dem 20-50 centimeter under vandoverfladen [2]. Solpaneler kan også placeres på flydende platforme, der følger bølgernes bevægelser, men også her, i "splash-zonen", kan begroning være et problem [3]. I 2030 forventes den globale installerede kapacitet af flydende solceller på havet i øvrigt at stige fra de nuværende 4.000 til 30.000 MW [3], og panelerne placeres for eksempel på den (delvis) frie plads mellem havvindmøller, så vind og sol kan få gavn af den samme offshore infrastruktur.

I et projekt finansieret af The Office of Naval Research, under den amerikanske flåde, har vi designet, formuleret og testet en lysgennemtrængelig, selvpolerende antifoulingmaling til undervandssolceller. Indeværende artikel gengiver de vigtigste resultater, mens detaljer kan findes i Rajagopalan og Kiil [4].

Selvpolerende bundmaling

Omkring 90 procent af den kommercielle skibsfart anvender kemisk aktive bundmalinger (antifoulingmalinger), som er komplekse produkter, der består af pigmenter, bindere, fyldstoffer og additiver. Binderfasen er en reaktiv polymer, der i kombination med et eller flere vandopløselige pigmenter får malingen til at polere i havvand, og der etableres et pigmentudludet lag på måske 10 µm som vist i figur 1.

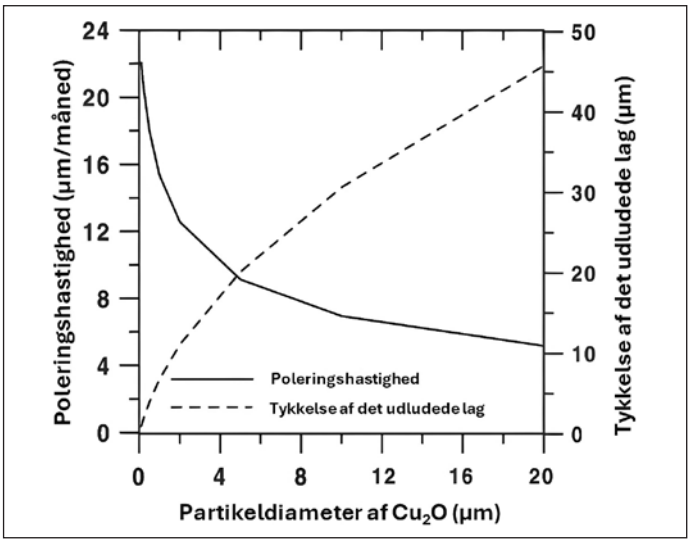
Da opløseligt Cu_2O-pigment (biocid) er kraftigt lysabsorberende og det udludede lag og ZnO-partikler spreder sollyset, er malingen heldækkende, så



Figur 1. Tværsnit af selvpolerende bundmaling. Yderst, mod havvandet, dannes et porøst, pigmentudludet lag. Modificeret og gengivet fra [4] med tilladelse fra Elsevier.

Krav til maling	Tilgang
Lav lysspredning og reflektion	d_p << 400 nm og lav partikelkoncentration
Lav grad af absorption af sollys	d_p >> 10 nm og lav partikelkoncentration
Hurtigpolerende maling	d_p << 100 nm og passende binder (blanding)
Høj begroningsmodstand	Høj partikelkoncentration
Lang levetid af maling	Høj filmtykkelse
Lang transmissionsvej for fotoner	En vis grad af uklarhed i malingen

Tabel 1. Kvalitative betragtninger for en selvpolerende antifoulingmaling til undervandssolceller baseret på opløselige pigmentpartikler. De 400 nm er den nedre grænse for synligt lys og d_p henviser til diameteren af Cu_2O og/eller ZnO-partikler (biocider).



Figur 2. Modelsimuleringer af effekten af partikelstørrelsen af Cu_2O på poleringshastighed og tykkelsen af det pigmentudludede lag ved 25°C. Oversat til dansk fra Kiil et al. [5] med tilladelse fra Elsevier.

hvordan gør man den gennemtrængelig for sollys? Tabel 1 viser udfordringen.

Meget små partikler af Cu_2O (og ZnO) reducerer lysspredning og refleksion, men øger lysabsorptionen. På samme måde vil en lav partikelkoncentration og filmtykkelse være godt for lysgennemtrængeligheden, men umiddelbart være uhensigtsmæssigt for malingens effekt mod begroning og dens levetid. Derudover vil en vis grad af uklarhed i malingen, der skaber en længere transmissionsvej for fotoner, faktisk øge effektiviteten af solcellerne. Spørgsmålet melder sig: Kan egenskaberne balanceres, så man opnår en effektiv solcellemaling?

Nanoteknologi i malingsbøtten

Vores malingsidé udspringer af en mere end 20 år gammel simuleringsartikel, der forudsagde, at det udludede lag af en selvpolerende antifoulingmaling ville forsvinde og poleringshastigheden blive kraftigt forøget, hvis diameteren af Cu_2O-pigmentet i malingen blev reduceret til nanostørrelse (figur 2).

Resultatet skyldes, at nanopigmenter, når de opløses, efterlader et meget stort overfladeareal per volumen i det porøse udludede lag, som øger binderens mulighed for at reagere hurtigt med havvandet [5].

Nanopartikler af Cu_2O og ZnO (16-18 nm) kan købes på nettet og med et ultralydsapparat dispergeres i malingen. Partiklerne koster (i små mængder) 20 gange så meget som "almindelig" Cu_2O med partikelstørrelser i mikrometerområdet, til gengæld (viste det sig) skal der bruges meget lidt stof (<0,1 vol.%) i malingen. For at booste antibegroningseffekten tilsættes også et transparent organisk biocid. Alle ingredienser er således kommercielt tilgængelige, og vores teknologi består i at kombinere dem på den rette måde.

Virker solcellemalingen mod begroning?

For at vurdere solcellemalingen eksponerede vi den på vores teststation i Hundested Havn (se figur 3). For detaljer om indretningen og mulighederne, se tidligere Dansk Kemi-artikel [6].

I figur 4 på side 8 ses resultatet af eksponeringstests med malinger, hvor vi har anvendt den "almindelige" Cu_2O og ZnO (partikelstørrelser i mikrometerområdet).

Allerede efter to uger er panelerne i den øverste række begroet, mens det samme er sket efter seks uger i den nederste række. Til sammenligning, vist i figur 5, side 8, giver maling med nanopartiklerne bedre resultater. Nederste række viser en maling baseret på et bindermiks af Si-akrylat og harpiks, som sikrer tre måneders begroningsfri maling. Oceangående skibe er normalt malet med malinger, der giver 3-5 års tørdok-interval, så tre måneder kan lyde som kort levetid, men der findes ingen solcellemalinger på markedet, som kan fungere uden regelmæssig mekanisk afrensning af begroning.

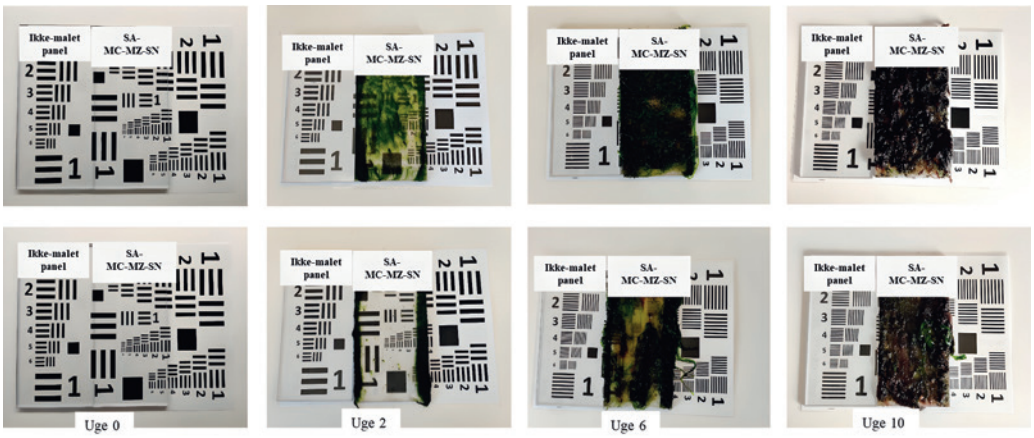
Hvordan virker malingen?

På trods af det meget lave indhold (<0,1 vol.%) har nanopartiklerne en vigtig funktion i malingen. Diameteren er så lille, at antallet af partikler bliver tilsvarende højt, og det betyder, at afstanden mellem partiklerne er omkring fire gange mindre end i konventionelle antifoulingmalinger med 10 vol.% Cu_2O. Vi forestiller os, at alger og bakterier "mærker", at overfladen er tæt besat med kobber, selvom de enkelte partikler næsten er punktformige. Med andre ord opleves overfladen omtrent som en ren Cu_2O-overflade, der er yderst virksom mod begroning, fordi pigmentet langsomt opløses og frigiver Cu^{2+}.

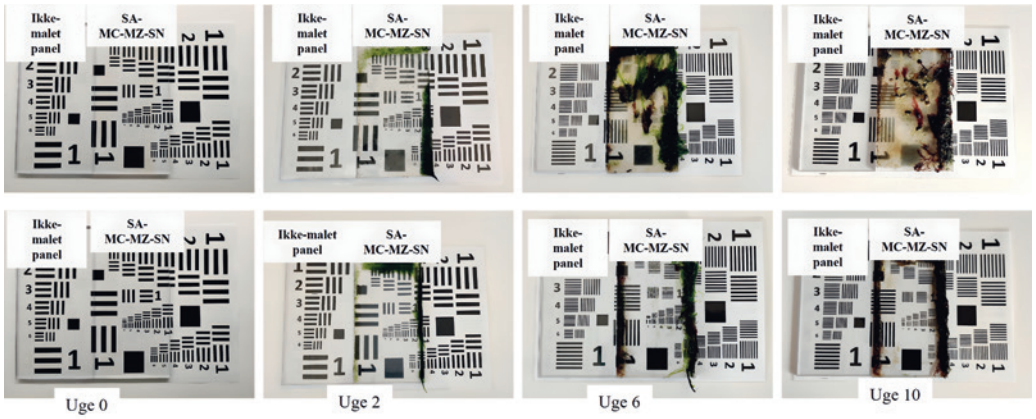
Kan de bemalede solceller producere energi?

Virkningsgraden af vores solcellemaling, efter statisk eksponering i vandet ud for Floridas kyst, blev testet af The Office of Naval Research og deres samarbejdspartnere ved Florida Institute of Technology. Figur 6, side 8, viser data over en periode på mere end tre måneder, hvor malingen holdt begroning væk

Figur 3. Malingsteststation i Hundested Havn med plads til 4.500 neddyppede, statiske paneler og otte roterende cylindere (venstre foto). Til højre ses en ramme, inden neddypning, med transparente polykarbonatsubstrater bemalet med transparente solcellemalinger. Foto til højre er gengivet fra [4] med tilladelse fra Elsevier og fotografen er Narayanan Rajagopalan. Venstre foto er taget af tidligere ansat i CoaST, Torben Rasmussen.



Figur 4. Eksponeringstest i havvand med selvpolerende solcellemalinger baseret på konventionelle Cu_2O- og ZnO-pigmenter i mikrometerstørrelse. Øverst er anvendt en Si-baseret binderteknologi, mens nederste række er en kombination af Si-akrylat og harpiksbindere. Modificeret og gengivet fra [4] med tilladelse fra Elsevier.



Figur 5. Eksponeringstest i havvand med selvpolerende solcellemalinger baseret på nanopartikler af Cu_2O- og ZnO-pigmenter. Øverst er anvendt en Si-baseret binderteknologi, nederst en kombination af Si-akrylat og harpiksbindere. Modificeret og gengivet fra [4] med tilladelse fra Elsevier.

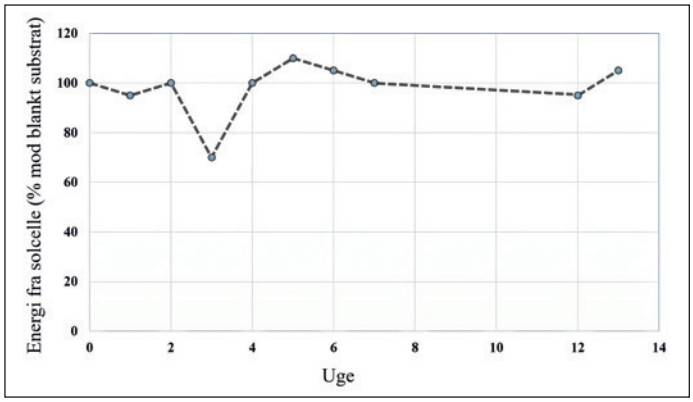
og sikrede, at solcellepanelet leverede en effektivitet på 100 procent uden mekanisk afrensning.

I kommerciel henseende forestiller vi os, at den selvrensende maling påføres direkte på solpanelerne, alternativt på transparente, udskiftelige plastsubstrater, der klikkes fast på solpanelet.

Konklusion

Vi er lykkedes med at designe og formulere en undervandssolcellemaling, som sikrer, at effektiviteten af et solcellepanel ikke påvirkes over en periode på tre måneder. Floridas varme havvand er kendt for særdeles udfordrende begroning, og malingen fungerede uden mekanisk afrensning.

DTU's Tech Transfer Office har patentansøgt opfindelsen og yderligere detaljer om solcellemalingen, kan findes i [4] og i en række udenlandske innovations- og teknikmagasiner, som uopfordret viderebragte nyheden om vores teknologi, da vi publicerede den videnskabelige artikel [7-11].



Figur 6. Effektivitet af solcellepanel placeret bag et transparent substrat bemalet med solcellemaling efter eksponering i Atlanterhavet (Florida). Eksponering og målinger blev udført af The Office of Naval Research, US Navy. Modificeret og gengivet fra [4] med tilladelse fra Elsevier.

Støtte og tak

Tak til The Office of Naval Research, US Navy, for støtte til forskningsprojektet (Grant N000142112746).

E-mail:
Søren Kiil: sk@kt.dtu.dk

Referencer

1. Röhr, J., Sartor, B.E., Lipton, J., Taylor, A.D., A dive into underwater solar cells, Nature Photonics, 1 (2023), 747-754.
2. Röhr, J., Sartor, B.E., Lipton, J., Taylor, A.D., Efficiency limits of underwater solar cells, Joule, (2020) 840-849.
3. Wu et al., Discussion on the development of offshore floating photovoltaic plants, emphasizing marine environmental protection, Mini Review, Front. Marine Sci. (2024) 11:1336783.
4. Rajagopalan, N., Kiil, S., Self-sustaining antifouling coating for underwater solar cells, Prog. Org. Coat., 196 (2024) 108754.
5. Kiil, S., Weinell, C.E., Pedersen, M.S., & Dam-Johansen, K., Mathematical modelling of a self-polishing antifouling paint exposed to seawater: a parameter study. Chemical Engineering Research and Design, (2002), 80(1), 45-52.
6. Weinell, C.E., Rasmussen, T., Azizaddini, N., Forskning i bæredygtige begroningshindrende bundmalinger, Dansk Kemi, 103(1), 2022, 6-10.
7. Self-Cleaning Coating Makes UUV Underwater Solar Panels More Efficient, iHLS (Israel's Homeland Security): https://i-hls.com/archives/125418.
8. These New Solar Cells Stay 100% Powerful Underwater With The U.S. Navy's Coating Tech, Wonderful Engineering (US): https://wonderfulengineering.com/these-new-solar-cells-stay-100-powerful-underwater-with-the-u-s-navys-coating-tech/.
9. Solar cells stay 100% powerful underwater with US Navy's new coating tech, Interesting Engineering (US): https://interestingengineering.com/innovation/new-coating-stops-biofouling-of-solar-cells.
10. Deze uitvinding maakt zonnepanelen onder water mogelijk, Bright.nl (The Netherlands): https://www.bright.nl/nieuws/1222138/deze-uitvinding-maakt-zonnepanelen-onder-water-mogelijk.html.
11. Un rivestimento anti-incrostrazioni per le celle solari sottomarine, Rinnovabili (Italy): https://www.rinnovabili.it/energia/fotovoltaico/celle-solari-sottomarine-proteggerle-incrostazioni/.

Nyt forskningscenter skal finde konkrete løsninger på PFAS-udfordringerne

Man finder stort set PFAS alle de steder, man leder. Det er bekymrende, at evighedskemikalierne, som de også kaldes, bliver fundet mange steder, hvor de ikke burde være, for eksempel i drikkevandet.

I maj 2024 vedtog regeringen sammen med aftalepartierne (SF, LA, K, EL, RV og ALT) den første nationale PFAS-handlingsplan, der skal oprense, afværge og inddæmme PFAS-forurening.

Som en del af inddæmningen er der afsat 45 millioner kroner til et PFAS forsknings- og leverancecenter, der begynder sit arbejde i 2025. Centeret skal tilvejebringe viden, der understøtter en effektiv håndtering og regulering af PFAS.

Forskerne skal blandt andet afprøve teknologier til at afværge risiko ved forureninger med PFAS, indsamle viden om helbredskonsekvenser ved eksponering for PFAS og undersøge sammenhængen mellem koncentrationer i miljøet og indhold i foder og fødevarer.

Centeret skal drives af et konsortium bestående af Danmarks Tekniske Universitet, Aarhus Universitet, Københavns Universitet og Syddansk Universitet under ledelse af professor Anders Baun fra DTU Sustain.

Kilde: Miljø- og ligestillingsministeriet

- PFAS er en samlet betegnelse for mindst 10.000 forskellige fluorholdige stoffer.
- PFAS-forbindelserne har været anvendt i industrien i over 50 år og mange bruges stadig. De er kendetegnet ved at være vand- og fedtafvisende, og derfor har man brugt dem i hverdagsprodukter som for eksempel tøj, sko, elektronik og maling. Stofferne kan skade miljø og sundhed, og er meget svære at nedbryde. Desuden ophober de sig i miljøet, i dyr og i mennesker.
- Handlingsplanen løber frem til og med 2027 og repræsenterer den første fase i indsatsen mod PFAS. Folketinget er enigt om at afsætte 404 millioner kroner i årene 2024-2027. Efter 2027 skal der tages stilling til fremadrettede indsatser mod PFAS-forurening.
- Handlingsplanen indeholder blandt andet et nationalt forbud mod PFAS i tøj, sko og imprægneringsmidler, 100 millioner kroner til oprensning af grunde forurenet med PFAS, 110 millioner kroner til rensning af PFAS i drikkevand og 45 millioner kroner til PFAS forsknings- og leverancecenter.

Offshore vindmøllefundamenter med lang levetid

Flytning af vindmøller til havet har mange fordele, men medfører også korrosionsudfordringer. Kan man sikre dem lang levetid i det barske miljø?

Af Claus E. Weinell og Søren Kiil, The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Center (CoaST), DTU Kemiteknik

Den grønne omstilling har resulteret i, at omkring halvdelen af Danmarks elforbrug nu stammer fra vindmøller. Tidligere blev vindmøllerne primært opstillet på land, men i dag er de fleste placeret offshore. Dette skyldes især, at vindforholdene til havs er stærkere og mere stabile end på land. Andre fordele ved offshore-placeringer inkluderer større afstand til beboelse og generelt mere plads på havet set fra et dansk perspektiv. Dog medfører offshore-placeringer også udfordringer, såsom højere omkostninger til installation, drift, vedligehold og ikke mindst pålidelig korrosionsbeskyttelse i det barske miljø. Denne artikel beskriver nogle af de udfordringer, der er forbundet med korrosionsbeskyttelse af offshore vindfundamenter, når der samtidig ønskes en meget lang levetid - gerne længere end de gængse standarder kan tilbyde.

Foto: Torben Rasmussen, CoaST.

Figur 1. Anholt Havmøllepark (en af Danmarks 17 etablerede havmølleparker) er beliggende i Kattegat, cirka 21 km fra kysten. Parken, som består af 111 vindmøller, blev taget i brug i 2013 og har en kapacitet på 400 megawatt.

De første vindmøller

Heron af Alexandria brugte for cirka 2.000 år siden en vindmølle til at drive et orgel, hvilket måske var den første udnyttelse af vindenergi [1]. Siden da har vindmøller været anvendt til energiproduktion, især til vandpumper og kornmaling. De første danske vindmøller, kendt som stubmøller, blev brugt i 1200-tallet. Der findes stadig omkring 13 bevarede stubmøller.

Den danske opfinder Poul la Cour konstruerede en af verdens første vindmøller til elproduktion i 1891 [2]. Han opfandt også *kratostaten*, som forbedrede udnyttelsen af vindenergi ved at udjævne den varierende kraft fra vindmøllen. Han spaltede oprindeligt vand til ilt og brint fra den producerede elektricitet og brugte brinten til belysning. Senere anvendte han batterier til energilagring. Udfordringen med at lagre overskydende elektricitet og sikre en stabil elforsyning, når vinden ikke blæser, er stadig relevant i dag. Udtrykket "Dunkelflaute" beskriver situationen, hvor der hverken er vind til møllerne eller sol til solcellerne, hvilket i høj grad kan mærkes på pengepungen.

I 1978 var der kun 11 vindmøller i Danmark med mindst 25 kilowatt kapacitet [3]. Samme år rejste Tvindhøjskolen en stor mølle på 1.000 kilowatt med hjælp fra Danmarks Tekniske Universitet. Denne mølle satte gang i vindenergiforskning. Midt i 1980'erne tog den danske vindmølleindustri fart og er nu et vigtigt forretningsområde. Ved udgangen af 2023 var der cirka 4.800 vindmøller i Danmark, dvs. der er sket store fremskridt inden for elproducerende vindenergi siden Poul la Cours tid.

Møllerne flytter ud på havet

Vindmøller er i høj grad blevet flyttet til havs, hvor moderne offshore-vindmøller kan producere op til 15 megawatt hver, dvs. omtrent 1.000 gange mere end en traditionel husstandsvindmølle. Figur 1 viser Anholt Havmøllepark. Danmark har 17 etablerede havvindmølleparker med en samlet kapacitet på cirka 2,6

gigawatt [4]. Hornsea 3, verdens største offshore-vindfarm [5], vil, når den står færdig, få en kapacitet på 2,9 gigawatt og vil kunne forsyne over 3 millioner engelske husstande. Samlet set vil Hornsea 1, 2 og 3 have en kapacitet på omkring 5 gigawatt, og yderligere 2,9 gigawatt med Hornsea 4 på tegnebrættet.

Der er mange fordele ved flytning af vindmøller til havs, men det medfører også nye udfordringer, især med fundering til havbunden og korrosion. Før etablering af en vindmøllepark skal havbunden, vind og andre forhold undersøges. Fundamenterne skal modstå påvirkninger fra vind, bølger og strøm, som kan forårsage materialetræthed. I Nordsøen er bølger, vandstrøm og vind vigtige faktorer, mens havis i Østersøen under kolde vintre har større betydning end bølger. Andre udfordringer inkluderer besværlige adgangsforhold og naturligvis et mere korrosivt miljø sammenlignet med landbaserede møller.

Fundamenter til offshore-vindmøller

Der findes forskellige typer fundamenter til havvindmøller. For eksempel brugte ældre vindfarme som Vindeby fra 1991 betonsænkekasser. Monopæle, der bankes ned i havbunden, er en af de mest anvendte metoder til havdybder på 30-40 meter. De enorme XXL monopæle kan klare dybder på 50 meter eller mere og bære vindmøller med en kapacitet på 14-15 megawatt.

Et alternativ til monopæle er jacket-strukturer, som har flere forankringer til havbunden og er velegnede til større havdybder og havbunde, der ikke tillader nedramning af en monopæl. Flydende fundamenter bruges til endnu større havdybder, hvor hverken monopæle eller jacket-strukturer er rentable. Alle fundamenter skal bære vindmøllen via en flangeforbindelse.

Monopælen som fundament

Allerede i designfasen skal vindmøllens forventede levetid overvejes. Mængden af stål skal optimeres for både holdbarhed og økonomi. Monopæle fremstilles ved at bukke og svejse store stålplader til cylindersektioner, som derefter svejses sammen for at danne monopælen. Der findes forskellige løsninger i toppen af monopælen, hvor tårnet skal monteres. Nogle løsninger anvender et overgangsstykke, der monteres oven på pælen efter nedramning i havbunden. Overgangsstykket inkluderer arbejdsplatforme, kran, anlægsplads for arbejdsbåde, tårnflange m.m. Figur 2 viser toppen af et overgangsstykke på en monopæl fra Anholt Havmøllepark.

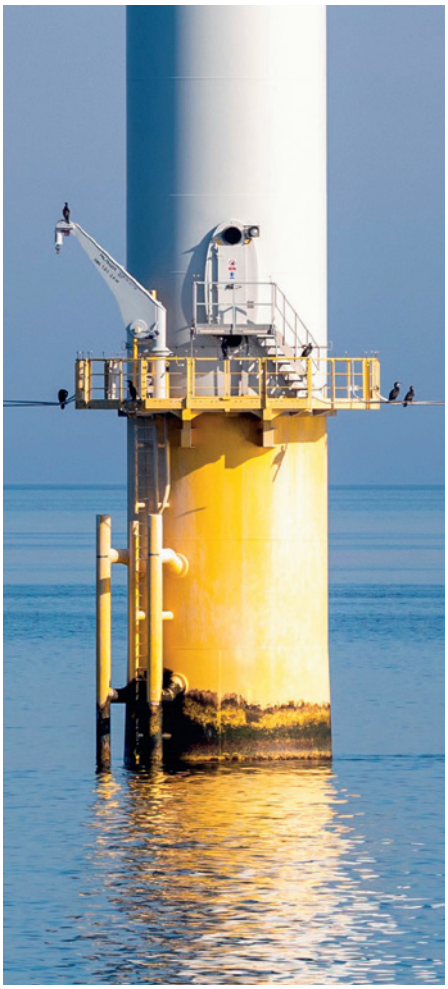


Foto: Torben Rasmussen, CoaST.

Figur 2. Toppen af et overgangsstykke på en monopæl placeret i Anholt Havmøllepark. På billedet ses blandt andet anlægsplads for arbejdsbåde, stiger, en ekstern platform, en kran, rækværk og adgangstrappe til tårnet. Alt dette skal også korrosionsbeskyttes. De færreste tænker måske over, at under vandet og videre ned i havbunden befinder der sig for de største monopæle yderligere 100 meter monopæl.

Andre løsninger forbinder monopælen direkte med vindmøllens tårn uden et overgangsstykke. Begge principper har deres fordele og ulemper. XXL-monopæle kan nå op til 100 meter i længde og veje omkring 2.000 tons. Omkredssvejsesømmene er kritiske for materialetræthed og kræver ekstra beskyttelse mod tæring. Desuden slibes de ofte glatte for at reducere risikoen for træthedsrevner.

Korrosionsbeskyttelse af monopælen

Hvis en monopæl efterlades ubeskyttet i et marint miljø, vil stålet straks begynde at korrodere. Korrosion af stål i havvand med tilstedeværelse af ilt er en elektrolytisk proces, der kan beskrives med følgende formler:

Anodisk reaktion (oxidation):

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$$

Her oxideres jern (Fe) til jernioner (Fe^{2+}) og afgiver elektroner.

Katodisk reaktion (reduktion):

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$$

I denne reaktion reduceres ilt (O_2) i vand til hydroxidioner (OH^-) ved at optage elektroner.

Den samlede korrosionsreaktion bliver:

$$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_2$$

Jern(II)hydroxid ($Fe(OH)_2$) vil over tid oxideres til jern(III), som er en komponent i rødrust. Samlet kan reaktionen skrives som:

$$4Fe + 3O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3 \cdot H_2O$$

Derfor er det nødvendigt at beskytte monopælen og dens komponenter, såsom platforme, adgangsstiger og anlægspladser, mod korrosion og udvikle en strategi for optimal beskyttelse. En korrosionsbeskyttelsesstrategi for en monopæl og dens komponenter kan omfatte korrosionsmargin, beskyttende maling, varmforzinkning og metallisering, katodisk beskyttelse eller et iltfrit miljø. Valget af beskyttelsestype afhænger af det specifikke område på monopælen, da forskellige områder har forskellige korrosions- og belastningszoner. For eksempel kan malingsspecifikationerne alene for en monopæl bestå af 10 eller flere forskellige systemer.

Den forventede levetid af en monopæl er typisk 25-30 år, men kan forlænges med god beskyttelse og vedligeholdelse - især af de kritiske områder. Inspektion og monitorering af korrosionsbeskyttelsen er afgørende.

Korrosionszonerne for en monopæl kan overordnet opdeles som følger [6,7]:

- **Under havbunden:** Iltfattige forhold giver lav korrosionsrisiko, så stålet kan stå i rå tilstand, i hvert fald et stykke nede i havbunden. Dog kan der opstå lokal korrosion øverst i mudderzonen på grund af iltkoncentrationsforskelle og mikrobielt influeret korrosion. Derfor bliver de øverste meter lige under havbunden oftest malet, og det katodiske beskyttelsessystem antages at virke et stykke under havbunden.
- **Under vand:** Indvendigt i monopælen har man tidligere lidt fejlagtigt antaget,

Foto: Torben Rasmussen, CoaST.

Figur 3. Korrosion på en ubeskyttet spunsvæg i tidevandszonen. En monopæl vil aldrig opleve en så alvorlig situation med gennemtæring, men det viser, hvor alvorlig korrosionen er i dette område og understreger vigtigheden af ordentlig korrosionsbeskyttelse.

at det er en lukket beholder, hvor ilten hurtigt ville forsvinde. Det har dog vist sig, at en vis grad af vandudskiftning ikke kan undgås, og man har omvendt set en fordel i aktivt at sikre vandudskiftning. Derfor beskytter man ofte alene med maling beregnet til neddykket drift, eller kombineret med katodisk beskyttelse (enten zinkanoder eller påtrykt spænding). Udvendigt bruges typisk aluminiumanoder og maling.

- **Tidevands- og bølgezonen (splash-zonen):** Udvendigt bruges et stærkt malingssystem, der kan modstå UV-stråling, saltvand, mekaniske og cykliske påvirkninger fra vandet og svingende temperatur. Reparationer er yderst besværlige i dette område. Katodisk beskyttelse virker ikke her - kun under vand. Indvendigt beskyttes med en god barrieremaling. Figur 3 viser korrosion på en ubeskyttet spunsvæg i tidevandszonen og illustrerer, hvor alvorlig korrosionen er i dette område.
- **Over vand og overgang til tårnet:** Udvendigt bruges med fordel zinkholdige primers, som giver fremragende korrosionsbeskyttelse over vand kombineret med en epoxybarrieremaling og en topcoat mod UV-stråling. Indvendigt vælges coating efter lavere korrosivitet, da dette område (med adgang til tårnet) ofte bliver affugtet for at beskytte elektronikken i tårnet. Platforme og stiger er typisk varmforzinkede. Flangen sprøjtemetalliseres for bedste beskyttelse.

Faktorer der sikrer lang levetid af malingssystemet

Bortset fra området langt under havbunden viser det foregående, hvor vigtig beskyttende maling er for fundamentets levetid. Katodisk beskyttelse anvendes, hvor muligt, ofte i kombination med maling, og visse elementer som platforme og stiger varmforzinkes. Langt størstedelen af monopælens overflade beskyttes med maling. Følgende faktorer påvirker malingssystemets funktion og levetid:

Specifikationen af malingssystemet skal tilpasses det miljø, det udsættes for. Offshore-miljøer kræver robuste flerlagssystemer med høj lagtykkelse, som er modstandsdygtige over for katodisk beskyttelse, UV-stråling og mekaniske påvirkninger. Figur 4 viser et eksempel på, hvor galt det kan gå, hvis der anvendes en forkert malingsspecifikation i splash-zonen. Ud over at skulle modstå offshore-miljøet er der andre sekundære overvejelser, som måske kun indirekte påvirker malingens levetid. For eksempel kan lokale miljøkrav forhindre et værft i at bruge bestemte malingsprodukter, hvis de indeholder for mange organiske opløsningsmidler. Nogle værfter har måske ikke tilstrækkeligt trænet personale eller de optimale faciliteter til at anvende hurtigt hærdende produkter med korte overmalingsintervaller, især når store monopæle produceres i serieproduktion. Her skal man især tage hensyn til kravene til fugt- og temperaturkontrol i fabrikationshallerne. Der findes forskellige standarder med krav og retningslinjer for malingsspecifikationer brugt offshore. De mest anvendte er ISO 12944 (del 5 og del 9), [8,9] og NORSOK M-501 [10]. Desuden har de fleste offshore vindenergiudviklere deres egne malingsstandarder.

Foto: Morten Mortensen, Hempel A/S.

Figur 4. Toppen af et overgangsstykke på en monopæl, hvor malingsspecifikationen var forkert. Efter kun 14 års brug (2016) i Nordsøen ses der betydelig fremskreden korrosion [11].

Malingsteknologien skal tilpasses specifikationen. Strukturelt kritiske områder kræver pålidelige systemer fra anerkendte leverandører. Epoxy og polyester med glasflagepigmenter anvendes i de stærkt korrosive områder.

Høj kvalitet af stålet er essentiel. Opbevaring af stålplader og færdige monopæle før forberedelse og maling er vigtig for at undgå grubetæring, hvilket kan gøre det vanskeligt at rense tilstrækkeligt godt før maling.

Rengøring og forberedelse af staloverfladen anses for den vigtigste enkeltfaktor for et holdbart malingssystem, og omfatter fjernelse af forurening, sandblæsning, opnåelse af ruhedsprofil og afrunding af skarpe kanter. Figur 5 illustrerer et tilfælde på, at der er malet på skarpe kanter. Dette giver dårlig beskyttelse.

Påføring af malingssystemet kræver godt håndværk. Luftløs sprøjtepåføring anvendes til de tunge malingstyper. Den rette filmtykkelse af malingen skal sikres, hverken for lidt eller for meget. Til offshore-brug anvendes 80-20 reglen, som dikterer, at lagtykkelsen ingen steder må være mindre end 80 procent af den specificerede værdi, og at maksimalt 20 procent af værdierne må ligge mellem den specificerede værdi og 80 procent af den specificerede værdi. Dette er for at undgå dårlig beskyttelse. Der er også en grænse for den maksima-

le tilladte lagtykkelsesværdi, typisk to eller tre gange den specificerede værdi, for at minimere risikoen for opbygning af spændinger og revner, når malingen hærder. Udover luftløs sprøjtepåføring skal der på alle svære områder, såsom langs kanter og svejsesømme, påføres en såkaldt stripe-coat med pensel for at sikre den rette filmlagtykkelse, hvor sprøjtepåføringen alene ikke er nok.

Kvalitetssikring er afgørende i alle faser. Dette omfatter gennemgang af malingsspecifikationen, allerede før designarbejdet begynder og on-site inspektion fra det øjeblik, stålet ankommer i store

Foto: Torben Rasmussen, CoaST.

Figur 5. Når skarpe kanter ikke afrundes før påføring af maling, giver malingen ikke tilstrækkelig beskyttelse og korrosion tager godt fat netop her.

plader til fabrikationsværftet, indtil den færdigmalede monopæl forlader stedet til udskibning. Inspektion og kvalitetssikring fortsætter, indtil monopælen er installeret i havbunden, vindmøllen er placeret, og videre gennem vindmøllens og fundamentets drift i 25-30 år - måske længere.

Levetidsforlængelse af offshore vindfundamenter

Er det overhovedet muligt at forlænge levetiden for en offshore-monopæl ud over de forventede 25-30 år, når vi allerede er på grænsen af gængse offshore-standarder, og når de foregående seks faktorer er opfyldt? Det korte svar er "ja", det er med høj sandsynlighed muligt, når følgende punkter overvejes:

God historik. Traditionelle malingssystemer har vist gode resultater, bedre end først antaget, især fra dekommissionerede offshore vindanlæg og olie- og gasindustrien fra 1980'erne. Epoxy- og polyestersystemer med glasflager klarer sig særdeles godt [11].

Evalueringsmetoder af malingssystemer. Alternativet til en god historik er accelererede laboratorietest. Disse har dog vist sig at være misvisende, og bør udvikles og suppleres med nye metoder som elektrokemisk impedansspektroskopi (EIS) og scanning akustisk mikroskopi (SAM).

Monitorering. Der findes kommercielle løsninger til fjernovervågning af korrosion og katodisk beskyttelse af offshore vindkraft. Sensorer og loggermoduler overvåger driften, herunder katodisk beskyttelse, miljøparametre, malingsnedbrydning og korrosion.

Retrofit af katodisk beskyttelse. Hvis malingssystemet under vand uventet svigter eller det eksisterende katodiske beskyttelsessystem er opbrugt før tid, kan et nyt katodisk beskyttelsessystem retrofittes som en plan B.

Forstærkning af malingsspecifikationen. For at forlænge holdbarheden kan malingssystemet forstærkes ud over standardkravene med øget malingslagtykkelse og skærpede krav til overfladebehandling og malingspåføring. Sidstnævnte eventuelt med automatiseret robotpåføring.

Inspektion og vedligehold. Et robust inspektions- og vedligeholdelsesprogram er afgørende for lang holdbarhed. Tidlige reparationer betaler sig på sigt.

Afslutning

Levetiden af et malingssystem anvendt på et offshore vindfundament, og dermed fundamentet selv, påvirkes af mange faktorer. Tidligere er der nævnt en række minimumskrav, der skal opfyldes. Der findes allerede gode malingsprodukter på markedet, og værfterne er blevet bedre til at håndtere de store strukturer i serieproduktion. Men der er stadig potentiale for optimering og forlængelse af levetiden. Det er økonomisk fordelagtigt at kunne forlænge levetiden. Kvaliteten af korrosionsbeskyttelsen fra starten er afgørende, og et solidt inspektions- og vedligeholdelsesprogram er også meget vigtigt; dette skal suppleres med overvågning af korrosionsbeskyttelsens effektivitet over tid.

Forskningsgruppen CoaST på DTU arbejder løbende på at udvikle nye malingsprodukter med bedre egenskaber. Der udvikles også smartere metoder til hurtigt at karakterisere og vurdere ydeevnen af malingssystemer, samtidig med at der udføres tests både i laboratorierne i Lyngby og på forskningsgruppens felttesteststation i Hundested Havn. CoaST samarbejder tæt med industrien, herunder vindenergiudviklere, malingsleverandører og leverandører af korrosionsovervågningsteknologi, og kan dermed bidrage til bedre korrosionsbeskyttelse af offshore vindanlæg.

E-mail:
Claus E. Weinell: cwei@kt.dtu.dk

Referencer

1. Vindmølle - Wikipedia, den frie encyklopædi: https://da.wikipedia.org/wiki/Vindmølle.
2. Poul la Cour - Wikipedia, den frie encyklopædi: https://da.wikipedia.org/wiki/Poul_la_Cour.
3. Fakta om vindenergi på hav: https://ens.dk/energikilder/fakta-om-vindenergi-paa-hav.
4. 40 år med vindkraft - fra 200 små møller til knap 5.000 kæmper - Danmarks Statistik: https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/bagtal/2024/2024-05-02-40-aar-med-vindkraft.
5. "Ørsted træffer endelig investeringsbeslutning om Hornsea 3 Havvindmøllepark", Ørsted koncernmeddelelse nr. 27 (2023).
6. Momber, A.W. and T. Marquardt, "Protective coatings for offshore wind energy devices (OWEAs): a review, J. Coat. Technol. Res., 15 (1) 13-40, 2018.
7. ISO 24656, Cathodic protection of offshore wind structures, ISO (2022).
8. ISO 12944-5, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 5: Protective paint systems, ISO (2018).
9. ISO 12944-9, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 9: Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures, ISO (2018).
10. Surface preparation and protective coating, NORSOK M-501, ed. 7, (2022).
11. Weinell, C.E., T. Mathiesen, A.R. Black and P.K. Nielsen, New developments in coatings for extended lifetime for offshore wind structures, NACE Corrosion, paper 9364 (2017).

Kan klor i havet danne skyer?

Foto: Pixabay.

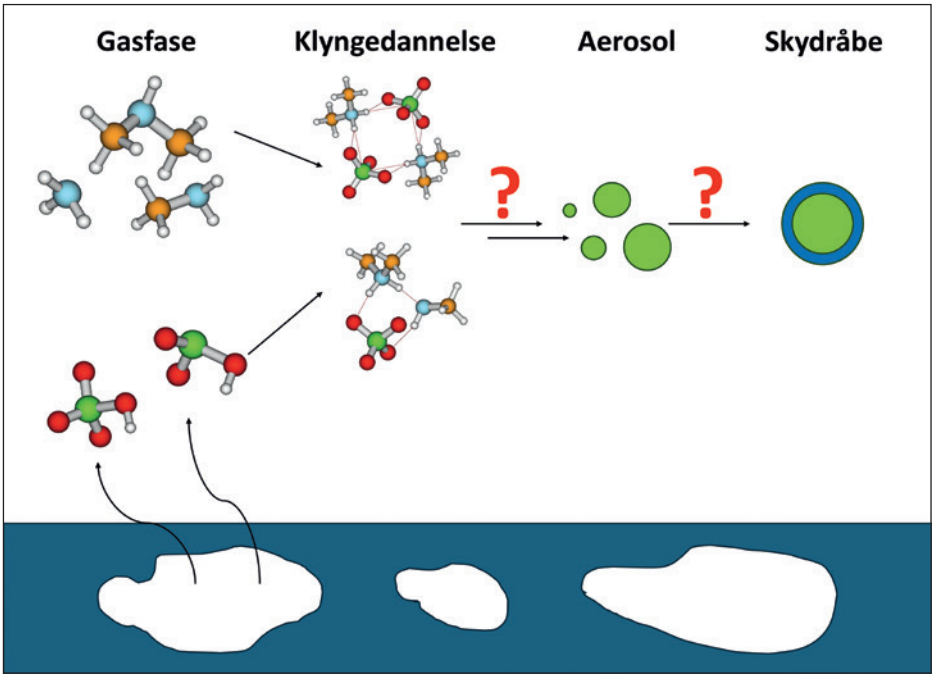
Kvantekemiske beregninger giver ny information om skykernedannelse fra klorforbindelser i havet.

Af Morten Engsvang
og Jonas Elm, Institut for Kemi,
Aarhus Universitet

Den globale temperatur er steget markant siden industrialiseringen. Dette skyldes en øget udledning af drivhusgasser så som CO_2 og CH_4. Aerosolpartikler spiller en vigtig rolle i vores klima, da de virker afkølende på jorden ved at bidrage til skydannelse. Nye aerosolpartikler via kernedannelse er en vigtig brik for skydannelse, men svært at kvantificere eksperimentelt.

Aerosolpartikler og globalt klima

Klimaet er et komplekst system af sammenfiltrede systemer og cyklusser, men det er dog lykkedes os at beskrive og kvantificere mange af dem. Men vi mangler stadig at kvantificere et meget vigtigt bidrag til den samlede klimapåvirkning, nemlig effekten af aerosoler, som er små partikler i atmosfæren. De fleste er nok bekendt med den direkte effekt af for mange partikler i luften i form af smog, hvor aerosolpartiklerne kan sprede og blokere for sollys. En anden, mindre kendt effekt, er aerosolpartiklernes evne til at danne grobund for vanddråber i atmosfæren. Hvis der ikke fandtes partikler i atmosfæren, ville det være tæt på umuligt for vand at danne vanddråber. Derfor vil mængden



Figur 1. Skematisk oversigt over klorsyredrevet kernedannelse.

Faktaboks 1: Kernedannelse

Kernedannelse er en fysisk proces, der beskriver de første trin i dannelsen af en ny termodynamisk fase inde i en eksisterende fase. Dette svarer til en første ordens faseovergang. Eftersom en global faseovergang ikke vil kunne ske øjeblikkeligt, vil kernedannelse forekomme via lokale klynger af molekyler. Når disse klynger når en vis kritisk størrelse, vil kernedannelse forekomme og den nye termodynamiske fase vil opstå spontant. Kernedannelse er derved defineret som, hvor hurtigt den nye fase opstår.

Et klassisk eksempel på kernedannelse er, når vand fryser til is. Dette sker ikke øjeblikkeligt, men ved at enkelte vandmolekyler danner små lokale klynger. Når disse klynger er store nok, vil iskrystaller spontant gro og danne den nye faste isfase. Kernedannelse er ikke begrænset til væske-til-fast-fase overgange. For eksempel vil et krus med øl danne bobler fra den opløste CO_2. Bobler vil også opstå fra kernedannelse af CO_2 fra defekter i glasset. Dette ses ofte ved bobler, der stiger op fra bunden af glasset.

I atmosfærekemi bruges konceptet kernedannelse om ny aerosolpartikeldannelse og viser, hvordan nye aerosolpartikler opstår via klyngedannelse af gasfasemolekyler over tid i en given volumen (#partikler cm^{-3} s^{-1}).

og størrelsen af aerosolpartikler direkte påvirke mængden og levetiden af skyer og sandsynligheden for nedbør.

Af den grund har det også været anerkendt i de seneste IPCC-rapporter som en af de største kilder til usikkerhed i præcist, hvor stor den menneskeskabte klimabelastning har været [1].

De fleste steder på Jorden har vi både naturlige og menneskeskabte kilder til aerosolpartikler. Det sker i form af direkte udsendte partikler og dannelsen af nye partikler i atmosfæren via kernedannelse (se faktaboks 1). Det betyder, at der altid er en mængde af partikler, som kan fungere som grobund for skydannelse. Men omkring polerne er effekten af biologisk og menneskelig aktivitet begrænset, så der er en meget lav mængde af partikler til at danne skyer. Derfor ser man også en voldsom forskydning af mængden af skydække over polerne ved selv små ændringer i transporten eller dannelsen af aerosolpartikler [2].

Skydække har normalt en overvejende kølende effekt på klimaet, da skyer under normale omstændigheder har en større effekt på synligt lys, som kommer ind fra solen i forhold til deres effekt på infrarød stråling, som bliver udsendt af Jorden. Men omkring polerne ser man ofte, at skyerne dannes af mindre aerosolpartikler og højere oppe i atmosfæren end normalt. Derfor kan skydannelse ved polerne faktisk bidrage til yderligere opvarmning [2].

Det er påvist, at for eksempel temperaturen i Arktis er steget fire gange hurtigere end det globale gennemsnit, hvor nogle områder er steget helt op mod syv gange hurtigere. Det er derfor ekstremt vigtigt at forstå de bagvedliggende mekanismer for mængden af partikler omkring polerne [3].

Fra molekyler til partikler

Kernedannelse (se faktaboks 1) i atmosfæren er en vigtig kilde til nye aerosolpartikler. Det estimeres, at op mod 90 procent af antallet af aerosoler kommer fra kernedannelse, og at mellem 10-80 procent, afhængig af regionen, af skydråber er dannet via kernedannelse [4].

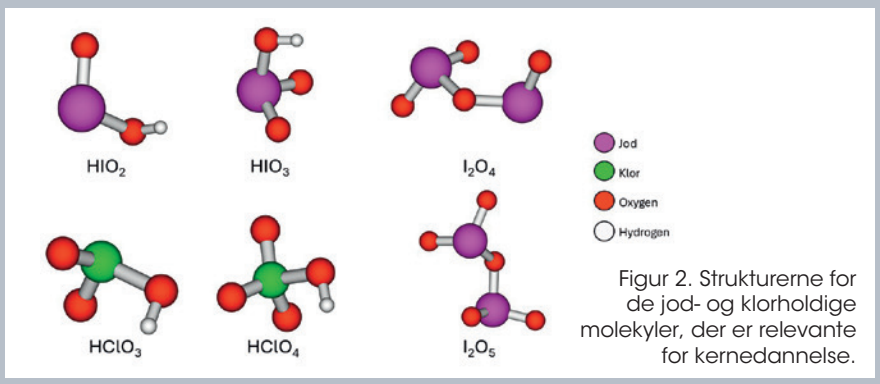
I det meste af verden er kernedannelse drevet af syre-base interaktionen mellem svovlsyre og baser såsom ammoniak og dimethylamin. Svovlsyre dannes ved oxidation af svovlholdige molekyler såsom svovldioxid, som udledes primært fra afbrænding af fossile brændstoffer og industrielle processer. Alternativt kan svovlsyre også dannes fra oxidation af dimethylsulfid, som frigives fra biologiske processer.

Men omkring polerne ser vi langt mindre udledning af svovlholdige molekyler, og derved også langt mindre svovlsyre. Man ser også langt mindre udledning af ammoniak og aminer fra havet, som så er erstattet af kraftige, lokale udledninger fra fuglekolonier. I stedet for svovlsyre måler man derimod et langt større indhold af halogener i partikler dannet omkring polerne.

Indtil for nylig var det primært jod (se faktaboks 2), som man anså som en mulig partikelkilde, men målinger har nu vist, at der også er betydelige mængder af klorsyrer (se faktaboks 2) tilstede.

Det er foreslået, at klorsyrerne kan dannes ved fotolyse af uorganiske halogenforbindelser, der kan findes i sne og is, så det er derfor en proces uafhængig af biologisk aktivitet.

Vi har i en nylig artikel vist [6] ved brug af kvantekemiske metoder (se faktaboks 3), at klorsyrerne binder stærkt med baser i gasfasen i en grad, hvor de kan konkurrere med svovlsyredrevet kernedannelse. Fra vores beregninger kunne vi påvise, at specifikt perklorsyredrevet kernedannelse bliver aktiveret ved betydeligt lavere syrekoncentrationer end den svovlsyredrevede ▶



Figur 2. Strukturerne for de jod- og klorholdige molekyler, der er relevante for kernedannelse.

■ Faktaboks 2: Klor- og Iodforbindelser udledt fra havet

Mange forskellige halogenforbindelser bliver udledt fra havet, og disse kan via fotolyse frigive halogenradikaler. Halogenradikalerne er meget følsomme over for oxidation i atmosfæren via eksempelvis ozon. De kan derfor danne både oxosyrer og oxidforbindelser, som er tilfældet for jod, som danner både jodsyrling (HIO_2), jodsyre (HIO_3), jodtetroxid (I_2O_4) og jodpentoxid (I_2O_5). Klor derimod danner primært syrer i form af klorsyre ($HClO_3$) og perklorsyre ($HClO_4$).

Strukturerne kan ses i figur 2.

Der dannes og udsendes selvfølgelig også saltsyre (HCl), men HCl er ikke anset som en vigtig brik i forhold til kernedannelse.

■ Faktaboks 3: Kvantemekanik som et molekylært forstørrelsesglas

Det er ekstremt svært at måle kernedannelse i luften eksperimentelt. Dette skyldes de lave koncentrationer af de involverede gasfasemolekyler og klynger. Målinger kan foretages med et *Chemical Ionization Atmospheric Pressure interface Time-of-flight* (CI-APi-TOF) massespektrometer, men man får kun information om massen af molekylet/klyngen, og detektionen er derved svær at analysere. Kvantekemiske beregninger kan bruges til at finde de kemiske strukturer af klynger, der er lavest i energi og derved de mest sandsynlige at observere i luften.

Ved brug af klassisk statistisk mekanik kan termodynamiske parametre (ΔG, ΔH og ΔS) beregnes. De beregnede Gibbs-frie energier kan bruges til at beregne fordampningshastigheden (γ [s^{-1}]) for de fundne klyngestrukturer til at bestemme, hvor lang tid de lever i atmosfæren. Ved brug af kinetisk gasteori kan kollisionshastighederne (β [$cm^3\ s^{-1}$]) mellem enkelte molekyler og klynger beregnes. Samlet kan γ og β bruges til at opstille førsteordens differentialligninger for koncentrationen af klynger og kan derved bruges til at simulere kernedannelseshastigheden. Herved kan kvantekemiske beregninger bruges til at simulere kernedannelse i luften - hele vejen - fra de enkelte molekyler og op til aerosolpartikler. På denne måde kan kvantemekanik agere som et molekylært forstørrelsesglas, der kan bruges til at forstå processer, der er svære at måle eksperimentelt.

kernedannelse, hvorimod svovlsyredrevet kernedannelse vil overtage ved højere koncentrationer.

Perklorsyre kan derfor potentielt være et betydningsfuldt bidrag til baggrundskoncentration af aerosolpartikler i Arktis og kan derfor potentielt bidrage til den accelererede opvarmning, som observeres i Arktis.

Perklorsyre-drevet kernedannelse er en ny mekanisme, som ikke er påvist før, og vi har kun gransket overfladen af perklorsyres indflydelse på partikeldannelse og dannelse af skydække. I efterfølgende studier vil vi undersøge, om der er en potentiel synergistisk effekt mellem kernedannelse drevet af perklorsyre og jod-drevet kernedannelse. Dette vil give os en forøget forståelse af aerosoldannelse i Arktis. En nøjagtig bestemmelse af den allerede eksisterende baggrund af partikler er essentiel for en nøjagtig bestemmelse af menneskers indflydelse på klimaet, og muligheden for lokal forstærkning af den globale opvarmning.

E-mail:
Jonas Elm: jelm@chem.au.dk
Morten Engsvang: engsvang@chem.au.dk

Referencer

1. Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc). *Climate Change 2021 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1st ed.; Cambridge University Press, 2023. https://doi.org/10.1017/9781009157896.
2. Schmale, J.; Zieger, P.; Ekman, A.M.L. Aerosols in Current and Future Arctic Climate. *Nat. Clim. Change* **2021**, *11* (2), 95-105. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00969-5.
3. Rantanen, M.; Karpechko, A. Yu.; Lipponen, A.; Nordling, K.; Hyvärinen, O.; Ruosteenoja, K.; Vihma, T.; Laaksonen, A. The Arctic Has Warmed Nearly Four Times Faster than the Globe since 1979. *Commun. Earth Environ.* **2022**, *3* (1), 168. https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3.
4. Zhao, B.; Donahue, N.M.; Zhang, K.; Mao, L.; Shrivastava, M.; Ma, P.-L.; Shen, J.; Wang, S.; Sun, J.; Gordon, H.; Tang, S.; Fast, J.; Wang, M.; Gao, Y.; Yan, C.; Singh, B.; Li, Z.; Huang, L.; Lou, S.; Lin, G.; Wang, H.; Jiang, J.; Ding, A.; Nie, W.; Qi, X.; Chi, X.; Wang, L. Global Variability in Atmospheric New Particle Formation Mechanisms. *Nature* **2024**, *631* (8019), 98-105. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07547-1.
5. Tham, Y.J.; Sarnela, N.; Iyer, S.; Li, Q.; Angot, H.; Quéléver, L.L.J.; Beck, I.; Laurila, T.; Beck, L.J.; Boyer, M.; Carmona-García, J.; Borrego-Sánchez, A.; Roca-Sanjuán, D.; Peräkylä, O.; Thakur, R.C.; He, X.-C.; Zha, Q.; Howard, D.; Blomquist, B.; Archer, S.D.; Bariteau, L.; Posman, K.; Hueber, J.; Helmig, D.; Jacobi, H.-W.; Junninen, H.; Kulmala, M.; Mahajan, A.S.; Massling, A.; Skov, H.; Sipilä, M.; Francisco, J.S.; Schmale, J.; Jokinen, T.; Saiz-Lopez, A. Widespread Detection of Chlorine Oxyacids in the Arctic Atmosphere. *Nat. Commun.* **2023**, *14* (1), 1769. https://doi.org/10.1038/s41467-023-37387-y.
6. Engsvang, M.; Knattrup, Y.; Kubečka, J.; Elm, J. Chlorine Oxyacids Potentially Contribute to Arctic Aerosol Formation. *Environ. Sci. Technol. Lett.* **2024**, *11* (2), 101-105. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00902.

Bliv fri for begroning: Del 1

I dag skal vi snakke uønsket begroning. På engelsk kaldet *fouling* - løst oversat er det *uønsket vækst af materialer på en overflade.*

Visuel illustration af opbygningsprocesser i industriel setting.

Af Isaac Appelquist Løge[1] og Benaiah U. Anabaraonye[2]

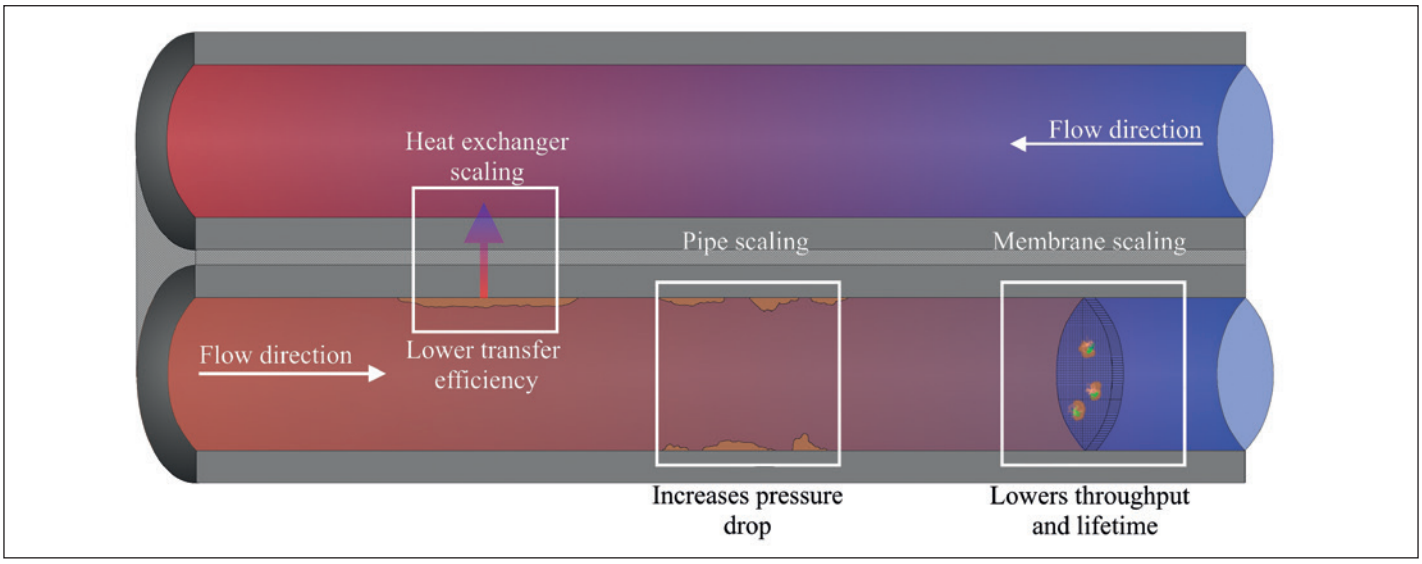
[1] DTU Kemiteknik, Center for Energy Resources Engineering (CERE)

[2] DTU Offshore

Fouling er måske et ydmygt ord, men med implikationer for milliarder. Uønskede materialer på overfladen kan opstå på mange måder og i mange sammenhænge, fra vores tænder til rør, der transporterer olie. For at forstå konceptet *fouling* bedre tager vi tre eksempler, hvor begroning kan have store konsekvenser.

Varmen bliver blokeret

Et andet vigtigt eksempel på begroning er, når varmevekslere - for eksempel i fjernvarmesystemer - bliver



Eksempler på, hvor begroning kan være en udfordring.

blokeret af mineraludfældninger. En varmeveksler overfører varme fra ét medium til et andet, men hvis der ligger et lag af kalk eller andre mineraler på væggene inde i varmeveksleren, kan varmen ikke passere effektivt.

En radiator er en type varmeveksler. Den overfører varmen fra vandet inde i den til luften omkring den. Forestil dig nu en radiator, der er dækket af et tykt lag støv: Du kan skrue nok så meget op for varmen, men rummet vil ikke blive tilsvarende varmt. En stor del af varmen vil gå til at varme støvlaget op, og vil derfor aldrig komme ud i rummet. På samme måde med en tilgroet varmeveksler - energiudnyttelsen falder, og det kræver mere brændsel eller elektricitet at opretholde den ønskede temperatur. I industrien tabes op til 0,25 procent af industrialiserede landes GDP hvert år grundet ineffektive varmevekslere (EPSTEIN, 1983).

Trykket stiger

Begroning i systemer, der udvinder geotermisk energi kan være et kritisk problem. Når varmt vand hentes op fra undergrunden, bringer det ofte opløste mineraler med sig. Når det varme, mineralholdige vand afkøles og trykket ændres, udfældes mineralerne i rør, som kan føre til blokeringer. Denne opbygning kræver omfattende vedligeholdelse og kan føre til driftsstop, hvilket påvirker produktiviteten og økonomien i geotermiske anlæg.

I Margretheholm så forskere, at mineraludfældninger halverede udbyttet af vand, samtidig med at trykket steg syv gange (Kazmierczak et al., 2022). Derfor er det afgørende at udvikle metoder til at forhindre eller minimere denne type begroning for at sikre bæredygtig og økonomisk rentabel geotermisk energi.

Vandet stopper

Membraner, altså meget fine filtre, bruges i vid udstrækning til at filtrere vand, luft eller andre væsker. De kan bruges til at lave beskidt vand om til rent drikkevand - hvis de da virker, som de skal. Men ligesom rør kan membraner blive tilstoppet af aflejringer. Når mineraler sætter sig fast på membranernes overflade eller i deres mikroskopiske porer, blokeres gennemstrømningen. Resultatet er, at filtreringseffektiviteten falder, mens energiforbruget stiger, fordi man skal pumpe hårdere for at opretholde flowet.

Dette problem er især kritisk i fødevareindustrien, i medicinsk udstyr og i fremstillingen af rent drikkevand. Når en membran stopper til, skal den udskiftes. Når man laver drikkevand med membraner, kan op til 20 procent af driftsomkostningerne gå til at udskifte membraner, og 25 procent ekstra går til at behandle vandet, for at der sker så få mineralaflejringer som muligt. Derfor er det afgørende at udvikle metoder til at forhindre, at belægningen opstår, og for at kunne rense eller udskifte membraner hurtigt og effektivt.

Hvad er begroning?

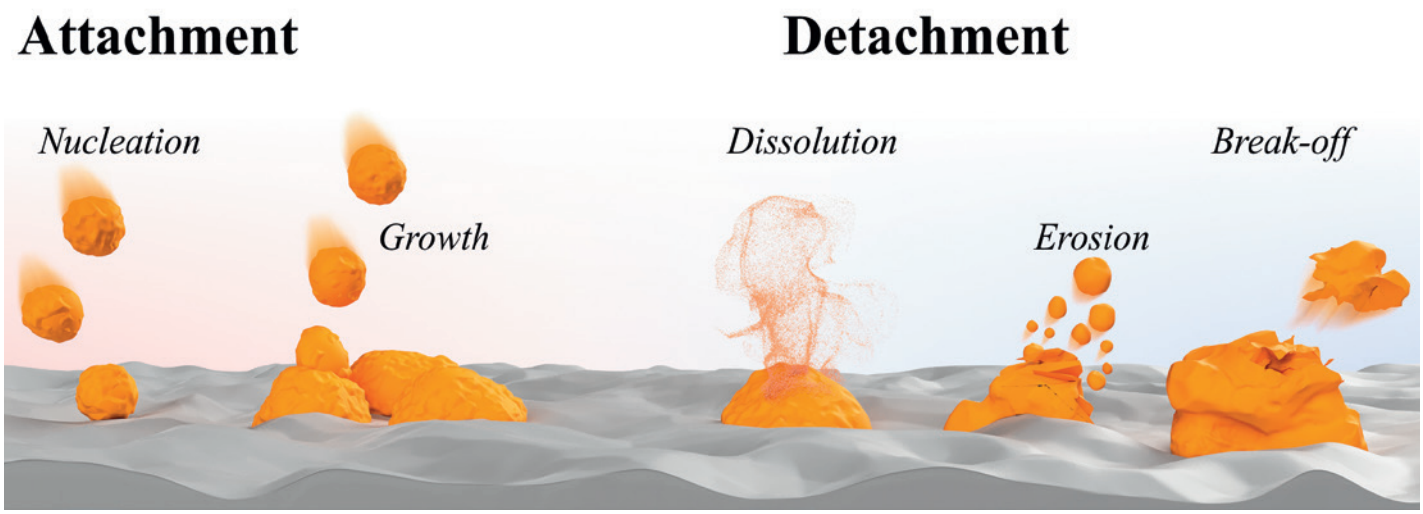
For at begroning kan ske, skal et mineral først være *overmættet* i en opløsning. Overmætning opstår ved forskellige forhold for ulige mineraler. Det andet kriterie er en overflade, hvor mineralerne kan sætte sig fast på. I husholdet kan det være bunden af en elkedel, hvor kalklag gror.

Hvordan undgår vi det?

En stor del af kampen mod mineralaflejringer begynder allerede med selve væsken. Ved at behandle vandet - fysisk eller kemisk - kan man fjerne eller mindske de ioner, der senere vil udfældes som krystaller. Et eksempel på fysisk behandling er behandling af vandet med elektromagnetisk stråling (Lin et al., 2020), mens kemisk behandling kan være tilsætning af stoffer, der hæmmer krystalvækst. Man kan også overfladebehandle rørsystemer, varmevekslere eller membraner med særlige belægninger, der gør det sværere for mineralerne at sætte sig fast.

Fælles for alle disse metoder er dog, at man skal vide, hvor og hvornår mineralerne sætter sig, så rengøringen kan planlægges optimalt. Hvis vi ikke forstår de underliggende processer - hvordan mineraler udfældes, klæber til overflader og i sidste ende løsriver sig - risikerer vi enten at rense for tidligt eller for sent. Begge dele koster tid, penge og ressourcer. Og derfor er det vigtigt at forstå, hvordan begroning gror.

Begroning skal nemlig ses som en balance mellem opbygning og nedbrydning. Hvis vi kun fokuserer på, hvor hurtigt belægningen vokser, men ignorerer hastigheden af, hvor hurtigt den samtidig falder af, får vi et ufuldstændigt billede. Historisk har der været et større fokus på, hvordan et lag bliver opbygget over tid, end hvordan det gradvist knækker af. Faktisk er det er lige netop løsrivelsesprocessen, der gør, at begroning på en overflade er anderledes fra blot at være en almindelig udfældning i selve væskevolumen. De kræfter, der får mineralbelægningen til at slippe eller knække af, kan påvirke væksten på måder, der ved første øjekast kan virke paradoksale (Løge & Anabaraonye, 2024).



Opbygning og løsrivning. Hver proces kan brydes ned i forskellige underpunkter, hvor opbygning består af nukleation og vækst, og løsrivning består af genopløsning, erosion og knæk.

Når kemiske inhibitorer arbejder imod os

For eksempel skulle man tro, at kemiske inhibitorer altid hjælper med at reducere krystaldannelse på overflader, men forskning viser, at de nogle gange gør det modsatte (Løge et al., 2023). For eksempel kan lave koncentrationer af inhibitorer faktisk øge, hvor meget der gror på en overflade. Det sker, fordi inhibitorerne sænker, hvor hurtigt krystallerne gror. Men når krystaller gror meget hurtigt, kan der dannes skrøbelige krystalstrukturer, som lettere knækker af, især når væsken har et højt indhold af mineraler. Derfor kan en inhibitor faktisk sørge for, at krystallerne gror lidt langsommere, men også laver mere stabile strukturer.

Inhibitorerne kan både reducere og forværre fouling, afhængigt af situationen - et fænomen, som gør det svært at forudsige effekten og planlægge vedligehold.

Når rækkefølgen afgør alt

Det viser sig, at rækkefølgen af, hvordan forskellige lag af materialer aflejres, kan have en overraskende stor betydning (Loge et al., 2022). Hvis det første lag, der aflejres på en overflade, er stærkt og modstandsdygtigt, skaber det en stabil base, hvor nye lag kan vokse hurtigt og jævnt. Omvendt, hvis det første lag er skrøbeligt eller har svage bindinger til overfladen, kan hele systemet blive ustabilt. Det betyder, at de efterfølgende lag lettere løsner sig, selvom de måske normalt ville binde godt. Denne dynamik mellem stærke og svage lag kan føre til en paradoksal situation, hvor væksten først accelereres, men senere hæmmes af hyppig løsrivelse.

Netop denne effekt er vist med to mineraler, barite ($BaSO_4$) og kalk ($CaCO_3$). Her er barite et stærkt mineral, som binder meget hårdt til en overflade. Når der blev groet kalk på et eksisterende barite-lag, groede kalken dobbelt så hurtigt. Men når det omvendte var tilfældet; at barite groede på kalk, så faldt næsten det hele af.

Sådan en uventet effekt understreger, hvor vigtigt det er at forstå, hvordan forskellige materialer interagerer, og hvordan deres rækkefølge påvirker det samlede system.

Hvordan kan begroning så løsrive sig?

Derfor er det vigtigt at forstå, hvorfor og hvordan løsrivning af begroning sker. Der er generelt tre processer, der kan få en belægning til at løsrive sig fra overfladen, hvor det har sat sig:

- Genopløsning (kemisk opløsning af aflejringerne)
- Erosion (slid gennem flow)
- Knæk (brud af større stykker).

At forstå disse mekanismer mere præcist er det næste store skridt inden for fouling-forskning, fordi det åbner for mere præcise modeller og bedre rengørings- og driftsstrategier.

I den kommende miniserie vil vi beskrive, hvordan en bedre forståelse af disse løsrivningsmekanismer kan bruges til at minimere begroning. I næste udgave kan du læse mere om, hvordan den overflade begroningen sker på, har en afgørende rolle for opbygningen og løsrivningen.

E-mail:
Isaac Appelquist Løge:
isacl@kt.dtu.dk

Typiske mineraler som danner aflejringer

1. Calciumcarbonat ($CaCO_3$)
- Kaldes også kalk i hverdagen.
- Meget almindeligt i både danske husholdninger (kalkaflejringer i elkedlen eller brusekabinen) og industrien (varmevekslere, køletårne).
- Bliver nemt udfældet, når vand opvarmes, eller pH stiger.

2. Calciumsulfat ($CaSO_4$)
- Kaldes også gips (i hydratiseret form).
- Forekommer ofte i kedler, varmevekslere og geotermiske anlæg, hvor salte ophobes.
- Laver en relativ porøs belægning.

3. Bariumsulfat ($BaSO_4$)
- Typisk set i olie- og gasindustrien, hvor det kan give massive udfældninger dybt nede i brønde.
- Også meget "tungtopløseligt", så selv små ændringer i vandkemi kan føre til kraftige aflejringer.

4. Silicabaserede mineraler (for eksempel SiO_2)
- Kan udfældes fra varmt vand i for eksempel geotermiske anlæg eller dampkedler.
- Danner hårde, glasagtige belægninger, der er vanskelige at fjerne.

5. Jern- og manganforbindelser
- I vandforsyningen kan jern eller mangan udfældes og give rødlige eller sorte belægninger.
- Kan påvirke drikkevandskvaliteten og kræver ofte speciel kemisk behandling.

Machine Learning i den danske procesindustri

På trods af udfordringer og barrierer kan industrivirksomheder med et højt energiforbrug omdanne data til værdi med Machine Learning-løsninger.

Foto: Pixabay.

Af Jakob Kjøbsted Huusom, DTU Kemiteknik, Nicklas Høgh Iversen, Viegand Maagøe A/S og Jesper Bryde Jacobsen, BioLean ApS

De fleste danske industrivirksomheder har de seneste år fået god adgang til procesdata af høj kvalitet. Værdien af de indsamlede data bliver dog sjældent udnyttet til fulde, fordi det ofte er dyrt, tidskrævende og komplekst at integrere det i produktionsprocesserne.

Vores erfaringer med praktisk implementering af Machine Learning viser, at det er muligt at bruge data til at skabe merværdi. Men erfaringerne viser også, at der er nogle praktiske og tekniske barrierer, der gør det vanskeligt at udnytte teknologiens fulde potentiale.

Machine Learning til Energi- og Procesoptimering (MLEEP)

Erfaringerne er høstet i MLEEP-projektet, som Energistyrelsen gennem programmet ELFORSK gav støtte til i 2022. Projektets målsætning er at integrere Machine Learning-algoritmer direkte i danske industrivirksomheder for på den måde at belyse potentialer, muligheder og barrierer, når man anvender Machine Learning til at optimere energiforbrug og processer i produktionsanlæg.

Det er gjort ved at integrere Machine Learning-modeller hos virksomheder i forskellige brancher, der alle er ken-

detegnet ved et højt energiforbrug. De fem virksomheder, der deltager, har derudover individuelle problemstillinger i forhold til implementeringen, der har skullet tages højde for.

Med MLEEP er det hensigten at kvantificere potentialerne for Machine Learning som et redskab, der er til at implementere, og som kan skabe værdi for virksomheder og samfund ved at bruge data, der allerede er tilgængeligt. Virksomhederne skal altså ikke ud at investere i omfattende dataindsamlingssystemer og måleudstyr for at kunne implementere Machine Learning-løsningerne.

Projektet skal også generalisere og videreformidle erfaringerne, så der forhåbentlig kan komme fart på udbredelsen af datadrevne analysemetoder hos mange flere brancher og industrivirksomheder i Danmark og resten af verden.

Procesanlægget hos en af projektvirksomhederne.

Organisering af industricases

De fem virksomhedscases er blevet organiseret i tæt samarbejde mellem udviklingsteamet og en partner i virksomheden for at udpege et afgrænset procesafsnit med potentiale for optimering.

Med det udgangspunkt blev der delt viden om processen og relevant historisk data mellem udviklingsteamet og virksomhedspartneren, ligesom der blev identificeret optimeringskriterier, procesbegrænsninger og arbejdsgange.

Når en opgave var defineret i en virksomhed, blev data forbehandlet og analyseret, så der kunne udvikles test af prædiktive modeller, der kunne indgå i et værktøj, som støtter operatørerne ved at foreslå optimerede procesindgreb. I samme fase blev basis for energiforbruget evalueret og brugt som benchmark-værdi.

Med valget af en given model og et koncept for beslutningsstøtteværktøj, som virksomheden så et potentiale i, blev der udviklet og implementeret en ny digital brugergrænseflade (dashboard) i kontrolrummet. De implementerede løsninger benytter realtidsmålinger for processerne, og modellerne optimerer potentielle styreindgreb. De visualiserer også nøglevariabler i processernes fremtidige forløb for operatørerne.

Afslutningsvis bliver løsningerne evalueret. Det sker ved at indhente feedback fra operatørerne og at se på den dokumenterede effekt på energiforbruget og optimeringskriterierne i en periode over et par måneder.

Det har været afgørende udelukkende at tage udgangspunkt i de processer og den instrumentering, der var på plads hos de medvirkende virksomheder, ved projektets begyndelse.

Status og resultater for projektet

I skrivende stund har vi afsluttet og evalueret implementeringen hos to virksomheder, vi er i implementerings- og testfasen hos to andre, og i udviklingsfasen hos den sidste. Alle cases skal være fuldt implementeret og evalueret med udgangen af 2025.

Hos alle fem virksomheder har det været muligt at identificere et konkret procesafsnit/problem, hvor den daglige drift er meget afhængig af indgreb fra procesoperatører, og hvor den naturlige variation i processen vanskeliggør optimal drift og energioptimering.

I alle tilfælde har der, udover energioptimering, været specifikke kvalitets- eller driftsmæssige procesvariabler, som indgår i optimeringen.

For alle virksomhederne har det været gældende, at der enten var driftsmæssige forstyrrelser eller råmaterialer til processen, der ikke har været fuldt karakteriseret, og derfor var det op til procesoperatørerne at sikre optimal drift i processen ud fra egen erfaring. Dermed afhænger driften i høj grad af, hvor erfaren operatøren er, eller hvor mange andre opgaver operatøren derudover skal løse.

I alle tilfælde har det været muligt at få tilstrækkeligt med procesdata til at kunne træne de modeller, som vi har udviklet med henblik på implementering.

Status er, at vi for alle cases har kunnet udvikle en model og dashboardløsning med potentiale til implementering, som virksomhederne vurderer, kan hjælpe deres operatører til mere konsistent at styre processerne mod optimum.

Der har imidlertid også været udfordringer. I ét projekt var vi nødsaget til at lukke helt ned, da virksomheden besluttede at gennemføre en større ændring af processen, som betød, at datagrundlaget til at udvikle en løsning ikke længere var til stede.

I et andet projekt er evalueringen afsluttet, og virksomheden er meget tilfreds og ønsker at fortsætte med Machine Learning. Dog har det endnu ikke været muligt at dokumentere en energibesparelse. Det skyldes sandsynligvis, at virksomheden i løbet af testperioden har modtaget råmateriale fra andre

Projektorganisation i MLEEP

Udviklingsteam
- Viegand Maagøe (projektleder)
- BioLean
- DTU Kemiteknik.

Partnervirksomheder:
- Viking Malt
- Avista Green
- Arla
- Ringsted Forsyning
- Koppers.

leverandører end i den periode, som dannede datagrundlaget for udviklingen af modellen.

Det er dog forventningen, at energibesparelsen kommer, når modellen over tid bliver tilpasset til data fra de nye leverandører. Virksomheden rapporterer derudover, at en sidegevinst ved projektet er, at beslutninger om procesdrift, som tidligere blev varetaget af funktionærer, nu kan håndteres af procesoperatørerne ved hjælp af dashboardet.

Hvad har vi lært?

Projektet har belyst, at der er et væsentligt potentiale for at optimere produktionsprocesser og at opnå energibesparelser, hvis styringen bliver gjort mere konsistent og mindre afhængig af personer. Mange produktionsprocesser er vanskelige at styre til optimal drift på grund af betydelige variationer i procesbetingelserne, som ikke altid kan karakteriseres eller måles. I disse situationer kan prædiktive Machine Learning-modeller, som benytter både historiske og realtidsmålinger fra processen, trænes til at forudsige udviklingen for processen på baggrund af realtids driftsdata og benyttes til at optimere styreindgreb mod en ønsket fremtidig driftsform.

I udviklingen af MLEEP-projektet har vi set, at hybride modeller er hensigtsmæssige, når de er baseret på mekanistisk viden og procesindsigt i kombination med en ren datadreven del, der er modelleret med neurale netværk.

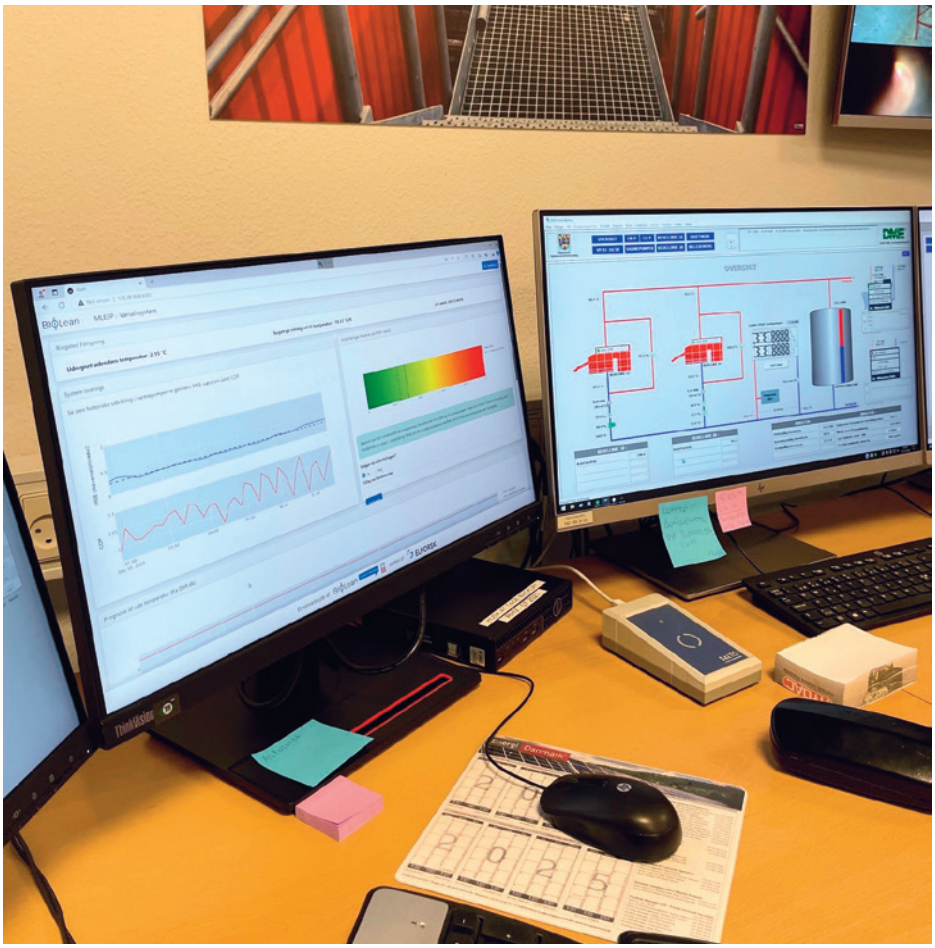
Den hybride struktur gør det muligt at bruge ekspertviden og universelle balanceligninger, som gør det muligt at fortolke modelforudsigelser og tvinge dem til for eksempel at opfylde masse- og energibalancer.

Samtidig bliver den datadrevne del benyttet til at korrelere for eksempel reaktions- eller transportmekanismer, som kan være påvirket af procesbetingelser eller forstyrrelser. Den datadrevne del er også god til at korrelere informationer, der er specifikke for råmaterialer til processen.

Den hybride struktur gør også, at det er lettere at træne gode modeller med mindre data, samt at modellens evne til at ekstrapolere er stærkere.

Projektet har også illustreret, at der er betydelige organisatoriske udfordringer, når man skal implementere denne type Machine Learning-værktøjer i praksis. For eksempel er det vigtigt at få et godt overblik over operatørernes arbejdsgange og ansvarsområder for at kunne udvikle et værktøj, som er til gavn for deres opgaveløsning.

Det er vigtigt, at den relevante information er tydelig og let tilgængelig for operatøren, der i forvejen har rigeligt med andre informationer og skærme at skulle forholde sig til.



Her ses dashboard introduceret i kontrolrum.

Det har også vist sig, at en god planlægningsproces fra begyndelsen er afgørende for det videre projektforløb, da den minimerer risikoen for, at der bliver spildt ressourcer senere i forløbet. Dette omfatter blandt andet at sikre sig, at modellen ender med at give værdi for virksomheden og at fundamentet for udviklingsprocessen er til stede. Dvs. at informationer, data, it-systemer og organisationen muliggør udvikling og implementering af en god Machine Learning-model i den daglige drift.

Projektet illustrerede også, at denne type af beslutningsstøtteværktøjer baseret på Machine Learning-modeller er meget sensitive over for væsentlige ændringer i processen og dens råmaterialer.

Samtidig gælder også, at driften skal være konsistent over en længere periode i forhold til det optimeringspotentiale, som løsningen er udviklet for at skabe. Ellers står investeringen næppe mål med effekten. Denne problemstilling kan i nogen grad afhjælpes ved at lade Machine Learning-modellen lære af nye data, som opsamles, men det vil kun gøre projektet dyrere og mere kompliceret at implementere.

Uanset at der er udfordringer og barrierer ved implementeringen af den ovennævnte type af Machine Learning-løsninger, er fordelene så mange og store, at der utvivlsomt er mange brancher og virksomheder, der kan have gavn af at benytte teknologien.

E-mail:
Jakob Kjøbsted Huusom: jkh@kt.dtu.dk
Nicklas Høgh Iversen: niv@viegandmaagoe.dk
Jesper Bryde Jacobsen: jbjc@biopro.nu

De fem cases i MLEEP

- Optimer drift for at reducere vandindhold før et tørringstrin.
- Optimer udbytte ved hurtig opstart af procesenhed.
- Optimer brug af lavtryksdamp for at reducere brug af højtryksdamp.
- Optimer udbytte af værdifulde fraktioner i en separationsproces.
- Forudsig og modvirk fænomener som reducerer ydeevnen af en procesenhed.

Nybrud i kemisk retskrivning

Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg og Dansk Sprognævn vil nu sikre et harmonisk fælles syn på nomenklaturanbefalingerne.

Foto: Morten Kjærgaard/FOTOgrafik.dk.

Figur 1. Sprognævnets nye domicil i Bogense, hvortil Nævnet flyttede fra København i 2019 under stor mediebevågenhed. Bygningen er en gammel varmecentral, og skorstenen fortsætter ned gennem bygningen, hvor Nævnet i stueetagen har brugt den til gulv-til-loft-reoler hele vejen rundt, jf. figur 2.

Af Ture Damhus, formand, Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg, og Peter Juel Henrichsen, seniorforsker, Dansk Sprognævn

Dansk retskrivning – lidt baggrund

Dansk Sprognævn (**dsn.dk**) er landets højeste organ for retskrivning og som følge heraf øretævernes holdeplads. DSN udgiver *Retskrivningsordbogen* (RO), der ifølge Lov om Dansk Retskrivning skal følges i hele den offentlige sektor [1]. Da Sprognævnet den 18/11-2024 frigav femte udgave (RO5), udløste det (igen igen) en medieorkan med partilederangreb, journalistbelejring, hånlige læserbreve i hundredvis og ikke så få personlige trusler. ”Må man nu ikke længere sige *X*?”, ”Nu har jeg hele mit liv skrevet *Y* uden at nogen har taget skade”, ”Er der overhovedet grænser for hvor woke Sprognævnet kan blive?????”, og mere af samme tønde. Folk synes at tro at DSN ikke laver andet end at drikke kaffe og kyle tåbeligheder ind i ortografien.

Hvordan bliver en ændring da indført i RO? Siden sin grundlæggelse i 1955 har Nævnet haft tre redaktionelle hovedprincipper. I prioriteret rækkefølge gælder først kontinuationsprincippet (KONT), derefter sprogbrugsprincippet (SB) og til sidst lydprincippet (LYD). KONT siger, let forenklet, at alt skal forblive som det er, og dét er det bærende princip i enhver ortografi. Ændringer sker derfor langsomt, og tilgangen af nye lemmaer (opslagsord) i RO er højst 200/år, eller ca. 0,3 %. I RO5 har vi hverken inkluderet det nye danske lemma ”crinch”, bøjningsformen ”strukket” eller den lydrette staveform ”familje” (selv om vi har ”vanilje” og ”linje”). Kommer de med i fremtiden? Eller med andre ord, hvornår vinder SB over KONT? Det sker hvis og når vi objektivt kan konstatere en stabil forekomst af en ny ordform (stavning, bøjning eller sammensætning) i et bredt udvalg af befolkningsgrupper over et

Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg (KFNU), et stående udvalg, daterer sig fra 1940 og har hele vejen igennem haft medlemmer med tæt kontakt til IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), der har som en væsentlig opgave at give anbefalinger vedrørende systematisk navngivning af kemiske forbindelser på engelsk, som *de facto* er det internationale fagsprog for kemi.

KFNU har som mandat at udarbejde danske ækvivalenter til IUPACs nomenklaturanbefalinger. Via trykte udgaver af *Kemisk Ordbog* [3] er man nu nået til have netbaserede referencematerialer på platformen **kemisknomenklatur.dk** centreret omkring en database med godt 18000 opslagsord (ultimo 2024), som i øvrigt spejles hos **Ordbogen.com**. Udvalget er selvsupplerende, og man er velkommen til at henvende sig til formanden på editor@kemisknomenklatur.dk hvis man har lyst til at deltage i arbejdet eller har kommentarer til det.

Den første inkarnation af KFNU barslede med en omfattende betænkning i 1952 (gengivet i [4]; se også den historiske oversigt i [5]). De danske grundstofnavne deri anvendes stadig og blev senere Dansk Standard og blev hen ad vejen suppleret med udvalgets anbefalede navne for de sidenhen tilkomne grundstoffer op til nr. 118. Den systematiske nomenklatur er gennem årene blevet justeret efterhånden som forlægget i form af IUPAC’s internationale anbefalinger er blevet udviklet.

Boks 1. Nomenklaturudvalget, baggrund.

længere tidsrum (typisk 10–20 år). Af denne grund har vi for eksempel ikke optaget nye coronaord siden RO3 selv om adskillige af dem havde heftige frekvenser i årene 2020-2023 (”coronapas”, ”-test” etc.). Hvis vi i DSN havde magt som vi har agt, ville vi lade LYD vinde over de andre principper langt oftere end i dag, sådan som de øvrige nordiske sprognævn har mulighed for, og overveje genskrivning af stavemåder som dyslektikere og ikkesåboglige danskere aldrig kan få rigtige, fx *bureaukrati* og *yoghurt*. Men bemærk at DSN ikke har mandat til selv at ændre nogetsomhelst. Ændringer er kostbare for samfundet, ikke mindst skolesystemet, så hvert ændringsoplæg skal godkendes af mere end 20 professionelle sprogmiljøer, nemlig dem der udgør DSN's repræsentantskab [2]. I sidste ende kan kulturministeren personligt annullere en hvilken som helst ændring (som Bertel Haarder gjorde det i RO3 fordi han ikke kunne lide formen ”et gymnasie”).

Så, kære kemikere, hvis I afskyr RO's nuværende opslagsord såsom *krom* og *zirkon*, så skyd ikke på pianisten. Vi tager imod forslag og ræsonnementer fra alle faggrene, og jeg (PJH) tør godt sige at netop den kemiske nomenklatur nyder Nævnets særlige respekt for sin rationelle *modus operandi* (vi har dialog med over en snes andre, mindre organiserede og mere højrøstede fagkredse end den kemiske). Så lad os høre jeres overvejelser, men forvent ikke et quickfix.

Kemisk nomenklatur og DSN

Fra starten har KFNU's anbefalinger givet anledning til diskussioner, og en del af dem har DSN ikke været enige i. Trods lejlighedsvise kontakter – som til tider har haft en konfrontatorisk karakter, men også involverede medlemskab af et par af Nævnets folk i KFNU i kortere perioder – var det ikke lykkedes for alvor at opnå et harmonisk fælles syn på nomenklaturanbefalingerne. **Det håber vi nu at kunne ændre på!** Strengt taget drejer det sig om en meget lille del af det kemiske univers. RO medtager kun navnene på ca. 2/3 af de nu kendte grundstoffer og et ganske lille antal kemiske forbindelser. *CAS Registry* havde i januar 2025 registreret 165 millioner kemiske forbindelser [6]. En del af grundstofnavnene og navne og navnedele som metan(RO)/methan(KFNU) og ætyl(RO)/ethyl(KFNU) indgår i mange sammensatte kemiske navne, men disse forholder RO sig ikke til.

Uanset at RO principielt skal følges i lovtekster har kemikalielister mv. fra myndigheder nu i over 50 år været baseret på IUPAC-nomenklatur med KFNU's anbefalede stavning [7,8].

Eksempler fra COR (niveau 1 = fuldstændig afbildning af RO5's ordformer)

COR-id	ordform	ordklasse & bøjning	glosse
COR.60058.110	sky	sb.fk.sg.ubest	stegesky; gelé
COR.73562.110	sky	sb.fk.sg.ubest	på himlen
COR.22093.302	sky	adj.sg.best	
COR.32735.200	sky	vb.inf.akt	
COR.86598.110	klor	sb.fk.sg.ubest	
COR.86598.120	klor	sb.itk.sg.ubest	
COR.86598.111	kloren	sb.fk.sg.best	
COR.86598.121	kloret	sb.itk.sg.best	
COR.39412.200	klore	vb.inf.akt	
COR.33237.200	klorere	vb.inf.akt	
COR.65825.120	zirkon	sb.itk.sg.ubest	et grundstof
COR.74277.110	zirkon	sb.fk.sg.ubest	et mineral; en smykkesten
COR.61241.110	ætyl	sb.fk.sg.ubest	

Boks 2. I COR-id'er (fx COR.60058.110) er lemmaindekset femcifret (60058 for lemmaet *sky* i betydningen gelé) mens bøjningsindekset er trecifret (110 for fælleskøn, ental, ubestemt form). Enkelte opslagsord har glosser (korte ordforklaringer, fx ”et grundstof”), dog kun med betydningsadskillende funktion (selv om dette princip, indrømmet, endnu ikke er strengt gennemført i RO5). RO's glosser har ingen ortografisk status i øvrigt. COR (database, specifikation og manualer) kan downloades fra **ordregister.dk**.

Kemisk retskrivning – et nybrud

Hvordan kan den kemiske nomenklatur, sådan som KFNU anbefaler den, udbredes som ortografisk standard i det danske samfund? Her giver Nævnets nye leksikalske format en oplagt mulighed. Fra og med RO5 bliver retskrivningsdefinitionen udgivet både som bog og som database; sidstnævnte kaldes *Det Centrale Ordregister* (COR, **ordregister.dk**). COR indeholder de ca. 530.000 ordformer i RO, med oplysning om ordklasse, bøjning og sammensætningspotentiale, alt i rent tekstformat (.txt) der er let at importere i programmer. COR er især rettet mod de sprogteknologiske udviklere til brug i tekstbehandling og AI (ChatGPT, Copilot, DeepL m.fl., se [9]); men også andre brancher benytter sig af COR-formalismen – ikke mindst ordbogsredaktioner.

COR er en åben standard. Retskrivningsnormens projektion udgør COR's formelle grundlag (og benævnes niveau 1), men enhver anden ordbog kan gøres COR-kompatibel (i niveau 2 og niveau 3; se formalia i ordregister.dk). I Boks 3 ses nogle eksempler fra en hypotetisk COR.KEMI.

Eksemplerne i Boks 3 er ikke grebet ud af luften. Nomenklaturudvalget og Nævnet er nyligt trådt sammen med det formål at etablere en retskrivningsnorm for fagområdet kemi. Denne norm, defineret i COR.KEMI, vil gøre det kemiske fagsprogs ortografi (med fx *chlor* for *klor*) tilgængelig dels for de faglige redaktioner (udgivere af læremidler og faglitteratur), dels for leverandører af tekstbehandling (LibreOffice, LaTeX, MS-Word, Google Docs osv.), det vil sige: for alle danske sprogbrugere. Det vil understøtte en mulighed for brugerens tilvalg af ortografisk referenceramme (naturligvis under forudsætning af at Microsoft, Google og de andre leverandører griber ideen; i USA, England og Frankrig er fagspecifik stave- og grammatikkontrol langt mere udbredt, så rent teknisk er der ingen hindring).

En COR-ordbog i niveau 2 eller 3 kan indarve den information fra den almene retskrivning (niveau 1) som man finder nyttig – og udelade resten. Som det ses i Boks 2 og 3, kan RO5's *klor* erstattes i COR.KEMI med *chlor*, mens øvrig morfologisk information (bøjning og sammensætning) kan indføres på kontrolleret måde (og dermed de orddannelsesregler der genererer fx ”chlorholdigt”, ”chlordampene”, ”hydrochlorering”

Eksempler fra COR.KEMI (en hypotetisk COR-ordbog i niveau 2)

COR.KEMI-id	ordform	ordklasse & bøjning
COR.KEMI.086598.120	chlor	sb.itk.sg.ubest
COR.KEMI.086598.121	chloret	sb.itk.sg.best
COR.KEMI.039412.200	chlore	vb.inf.akt
COR.KEMI.033237.200	chlorere	vb.inf.akt
COR.KEMI.065825.120	zirconium	sb.itk.sg.ubest
COR.KEMI.074277.110	zirkon	sb.fk.sg.ubest
COR.KEMI.123456.890	ethyl	præfiks

Boks 3.

osv.). COR-formatet giver nogle redaktionelle fordele. Det er enkelt at fordele såvel beslutningsmyndighed som praktisk-leksikografiske opgaver over flere redaktioner der arbejder på den samme ordbog – uden sværdslag. Vi forventer at arbejdet med at samkøre RO5 og Nomenklaturudvalgets ortografiske modifikationer begynder inden for få måneder og resulterer i en læsbar COR. KEMI inden Udvalget og Nævnet går på pension. Giv agt, stay tuned, vigilate, og deltag gerne med råd og dåd!

Perspektivet

Er det overhovedet vigtigt at bruge en bestemt udgave af kemisk nomenklatur?

Svaret må blive ja, hvis talen er om systematisk navngivning af kemiske forbindelser i almindelighed i faglige kontekster, fx myndighedsforordninger og kemikalielister, men også i videnskabelige artikler. Der er ingen grund til med vilje at generere støj i faglig kemisk litteratur. Småsjusk, som fx "benzene" eller "hydrogen fluoride" midt i en dansk tekst eller stavevarianter i isolerede ord som metanol eller ætanol eller fenol, generer måske ikke alle læsere, men de giver problemer ved tekstsøgning.

Systematiske navne for forbindelser af bare nogen kompleksitet ligger uden for RO. Noget andet er brugen af navne på grundstoffer og simple kemiske forbindelser i daglige kontekster som avisartikler, reklamer, brugsanvisninger og diverse artikler på internettet. Er det et problem at der er alternative stavemåder (eller ligefrem navnevarianter som ved *titan*/*titanium*) eller at der anvendes navne der officielt er afskaffet for mange år siden (*brintoverilte*, *kulilte*, *svovlbrinte*)? Måske egentlig ikke, og specielt ikke hvis man ubesværet kan bevæge sig rundt mellem varianterne. Hertil skulle COR.KEMI kunne hjælpe.

Foto: Thomas Widmann, DSN.

Figur 2. Peter Juel Henrichsen ved skorstensreolen hos DSN. I bedste Harry Potter-stil er der en hemmelig dør et sted, hvor to reolsektioner kan åbnes og man kan komme ind i skorstenen. Dette benyttes ved inspektion af tekniske installationer i forbindelse med mobilsenderne i toppen af skorstenen.

Figur 3. Logo for DSN's sprogfestival *Sprogense*, som finder sted hvert år i Bogense (næste gang 2.-3. maj 2025, se **sprogense.dk**).

E-mail:
Ture Damhus:
editor@kemisknomenklatur.dk

Referencer

1. *Lov om Dansk Retskrivning*. Retsinformation: LOV nr. 332 af 14. maj 1997; https://www.retsinformation.dk/eli/lta/1997/332.
2. *Lov om Dansk Sprognævn*. Retsinformation: LOV nr. 320 af 14. maj 1997 med senere ændringer; https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/217.
3. *Kemisk Ordbog* (1996), 2. udgave (2005) og 3. udgave (2008), alle fra Nyt Teknisk Forlag.
4. *Dansk Kemisk Nomenclatur* (Kemisk Forening, København 1978; tilgængelig som PDF på Nomenklaturudvalgets hjemmeside kemisknomenklatur.dk).
5. Jensen, K.A. (1979): Kemisk nomenklatur – en oversigt over dansk og internationalt reformarbejde gennem 40 år, *Fysisk Tidsskrift* **77** nr. 4, 145–169.
6. *CAS Registry* januar 2025 (https://commonchemistry.cas.org/).
7. Miljøstyrelsen (1977): Vejledning nr. 1, *Bekendtgørelse om farlige stoffer og præparater*.
8. Astrup Jensen, A. (1983): *Kemisk Nomenklatur – En vejledning i anvendelsen af den moderne kemiske navngivning* (Vejledning nr. 3 fra Arbejdstilsynet/Arbejdsmiljøinstituttet).
9. Henrichsen, P.J. (2024): Tekstordet som grammatisk domæne, *Ny forskning i grammatik* 31, 53–70. https://doi.org/10.7146/nfg.v1i31.145292.

Margrete Bose, en kvinde i tidlig fysisk kemi

I 150-året for kvinders adgang til Københavns Universitet er det værd at mindes den med urette glemte danske kemiker Margrete Bose, født Heiberg.

Af Helge Kragh

I dansk såvel som i international videnskabshistorie optræder kvinder først for alvor i perioden omkring 1900, hvor den første generation af akademisk uddannede videnskabskvinder gjorde sit indtog. Den ikoniske skikkelse som kvindelig pioner i fysik og kemi var naturligvis polsk-franske Marie Curie. For dansk fysiks vedkommende tog Hanna Adler og Kirstine Meyer magistergraden i 1892 og fem år senere har vi de første kemiingeniører (cand.polyt.) fra Polyteknisk Læreanstalt, nemlig Betzy Meyer og Agnes Klingberg. Mens disse skikkelser er beskrevet i dansk videnskabs- og kvindehistorie, er den første kvindelige magister i kemi fra Københavns Universitet på det nærmeste ukendt. Således nævnes hun ikke i Gyldendals *Store Danske Encyklopædi* udgivet i 20 bind mellem 1994 og 2001.

Margrete Bose, som hun hed, har heller ikke påkaldt sig international opmærksomhed, men der er god grund til at trække hende op af glemslens dybder. Ikke blot havde hun en lang karriere som forsker og lærer, hun var også foregangskvinde i den nye fysiske kemi. Dertil kommer, at hun var kosmopolit, idet hun under vanskelige omstændigheder virkede i både Danmark, Tyskland og Argentina. Når hun højst optræder som en parentes i danske fremstillinger, hvis hun da overhovedet optræder, skyldes det måske, at hun hovedsageligt arbejdede uden for landets grænser.

Emil Bose (1874-1911).

En magistergrad i fysisk kemi

Margrete Elisabeth Heiberg blev født i Sorø den 19. september 1865 som den anden af en søskendeflok på otte. Først som 30-årig lykkedes det hende at få adgang til Københavns Universitet, hvor hun studerede kemi som hovedfag og fysik, matematik, mineralogi og astronomi som bifag. I september 1901 forsvarede hun som den første kvinde i Danmark en kemisk magisterkonferens, hvis emne var cyanidforbindelsers rolle i udviklingen af den organiske kemi. Det tog yderligere 11 år, før den næste danske kvinde (Ulla Witt, født Starcke) fik tildelt en magistergrad i kemi.

I slutningen af 1901 blev Margrete ansat som assistent for professor Emil Petersen ved Kemisk Laboratorium. Petersen havde efter besøg hos Wilhelm Ostwald i Leipzig indført den nye fysiske kemi i Danmark og det var formentligt ham, der inspirerede Margrete til at specialisere sig i området. I sommeren 1902 rejste hun derfor til Göttingen i Tyskland for at arbejde som forskningsstuderende under den senere nobelpristager Walther Nernst. Efter et års tid vendte hun kortvarigt tilbage til Kemisk Laboratorium, men kun for at afslutte sin stilling som assistent. Hendes efterfølger blev ingen anden end den 23-årige Niels Bjerrum.

Opholdet i Göttingen blev frugtbart på mere end én måde. Det var her, Margrete gjorde sin debut i den internationale forskningsverden i form af fysisk-kemiske

Margrete Bose (1865-1952) med sønnen Walter (1905-1993), cirka 1912.

afhandlinger publiceret i de toneangivende tidsskrifter *Zeitschrift für Elektrochemie* og *Zeitschrift für anorganische Chemie*. En af disse afhandlinger, en undersøgelse af metallet thalliums elektrokemiske egenskaber, blev citeret i den videnskabelige litteratur så sent som 1996.

Det var også i Göttingen, at Margrete mødte den fremtrædende kemiker og fysiker Emil Bose, der var elev af Nernst og forelæste om fysiske metoder i kemien. Bose forelskede sig hovedkulds i den ni år ældre Margrete, der efter nogen betænkningstid gav efter for hans ihærdige kurmageri. Efter at være blevet præsenteret for Margretes forældre i Sorø, blev parret gift i Roskilde Domkirke den 8. september 1903, hvorefter det gik tilbage til Göttingen. Med ægteskabet havde Margrete fået tysk statsborgerskab og var nu blevet til Margrete Bose eller Frau Dr. Bose. To år senere blev 40-årige Margrete mor til sønnen Walter.

Fra Göttingen til Danzig

Margrete og Emil var ikke blot ægtefæller, men samarbejdede også om videnskabelige opgaver. Hertil hørte det anerkendte tidsskrift *Physikalische Zeitschrift*, der mellem 1904 og 1909 blev redigeret af Emil og havde Margrete som sekretær. Blandt dem, der i

perioden bidrog til tidsskriftet, var ingen ringere end Albert Einstein. I 1906 blev Emil udnævnt til professor i fysisk kemi ved det tekniske universitet i Danzig, der i dag kendes som den polske by Gdansk, men dengang var tysk. Parret tilbragte tre år i Danzig, hvor de blandt andet skrev en fælles artikel om binære væskeblandingers termodynamik, der blev udgivet af Videnskabernes Selskab i København. Det var Margretes sidste videnskabelige arbejde på sit modersmål.

Årene i Danzig var en lykkelig blanding af travlt arbejde, konferencer, familieliv og rejser. Således tog Margrete og Emil, efter at have parkeret lille Walter hos bedsteforældrene i Danmark, i 1908 på en lang og dengang eksotisk rejse gennem Norge, der sluttede i Nordkap. Som det fremgår af Margretes breve til sin mor, var hun vildt begejstret over midnatssolen og den pragtfulde norske natur. Opholdet i Danzig var dog ret kortvarigt, for allerede i 1909 udvandrede familien til det både videnskabeligt og geografisk fjerne Sydamerika.

Fjernt fra Danmark

I byen La Plata cirka 50 kilometer fra Argentinas hovedstad Buenos Aires var et nyt universitet blevet grundlagt i 1905. Universitetets ledelse ønskede en tysk leder af det fysiske institut og valgte Emil Bose som den bedste kandidat. Emil accepterede det ærefulde, men vanskelige hverv, idet han betingede sig, at Margrete skulle følge med som ekstraordinær professor. Da familien Bose i sommeren 1909 ankom til La Plata, blev de to forskere hilst velkommen af den lokale presse, der hyldede Margrete, som var hun en ny Marie Curie. Arbejdet med at indrette det nye fysikinstitut var tungt og opslidende, men det lykkedes Emil, med hjælp fra Margrete, at skabe en moderne institution, der ikke stod tilbage for de bedste i Europa. I en lang og detaljeret artikel i *Physikalische Zeitschrift* beskrev Margrete det færdige institut og dets tilblivelseshistorie.

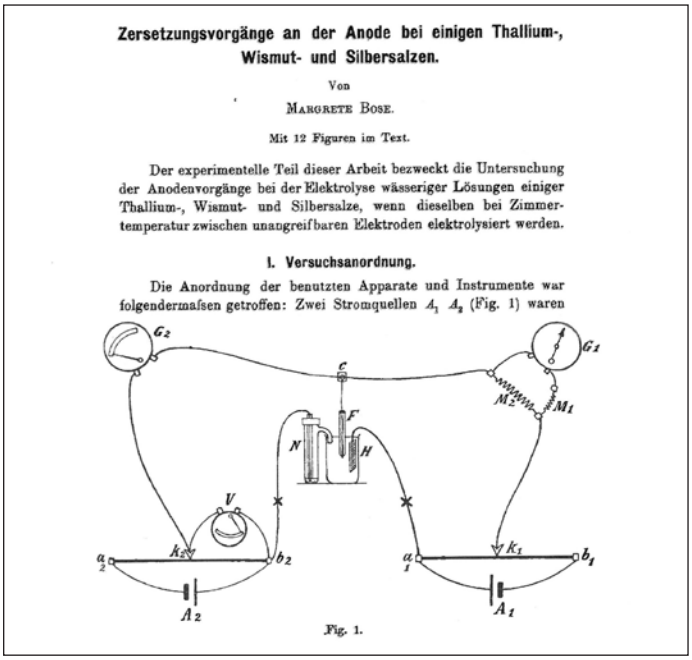
Selv om Margretes primære arbejde var undervisning af de studerende, fandt hun også tid til videnskabelig forskning. Som ansat ved et institut for fysik bevægede hun sig i stigende grad fra den fysiske kemi mod den rene fysik, sådan som tilfældet var med en eksperimentel artikel om hydrodynamik skrevet sammen med Emil. Hun publicerede stadig mest på tysk, men efterhånden også på spansk, som hun hurtigt lærte sig. Margrete trivedes i Argentina, men hendes situation ændredes brat, da 36-årige Emil i maj 1911 døde af tyfus og efterlod hende som enke med ansvaret for 6-årige Walter.

I skyggen af første verdenskrig

Margrete havde ganske vist en stilling ved universitetet i La Plata, men hun var usikker på, om den ville blive forlænget og om hendes fremtid lå i Argentina eller i Tyskland (Danmark var udelukket, for her kunne kvinder endnu ikke få en fast akademisk ansættelse). I denne periode af tvivl og usikkerhed rejste hun til Europa, hvor hun kortvarigt arbejdede på Nernsts laboratorium og også besøgte sine forældre i Danmark.

Sammen med Walter tog hun i 1915 endnu engang til det nu krigsførende Tyskland, som hun nåede efter en langvarig og dramatisk rejse. Krigen gjorde det umuligt at vende tilbage, så hun blev i Tyskland indtil foråret 1919. Hendes værdifulde erindringer om de svære krigsår og den følgende våbenstilstand blev udgivet som et skrift på både tysk og spansk. Da Margrete endelig kom tilbage til La Plata, var hun ikke længere velkommen og det tog hende mere end to års bitter strid med myndighederne, før hun blev genansat i en stilling som titulær professor.

Margrete, der nu var blevet til Margarita Heiberg de Bose, besluttede sig for at blive i Argentina og i sin nye stilling fortsatte hun med at undervise og skrive både videnskabelige og populære artikler. I 1937 fik hun argentinsk statsborgerskab. Sammen med en anden La Plata-fysiker, Ramón Loyarte, anvendte hun spektrofotometriske metoder til at undersøge de tilsætningsstoffer, der er i den opkvikkende te kaldet maté fremstillet af blade fra matébusken. Arbejdet fra 1928 er blevet fremhævet som et tidligt eksempel på videnskabelig fødevarekontrol. Også efter sin pensionering i 1941 var Margrete travlt optaget af skriverier og foredrag, herunder oversættelser af bøger fra dansk eller tysk til spansk.



Zersetzungsvorgänge an der Anode bei einigen Thallium-, Wismut- und Silbersalzen.

Von

Margrete Bose.

Mit 12 Figuren im Text.

Der experimentelle Teil dieser Arbeit bezweckt die Untersuchung der Anodenvorgänge bei der Elektrolyse wässeriger Lösungen einiger Thallium-, Wismut- und Silbersalze, wenn dieselben bei Zimmertemperatur zwischen unangreifbaren Elektroden elektrolysiert werden.

1. Versuchsanordnung.

Die Anordnung der benutzten Apparate und Instrumente war folgendermaßen getroffen: Zwei Stromquellen A_1 A_2 (Fig. 1) waren

Fig. 1.

En af Margrete Boses videnskabelige artikler, her fra *Zeitschrift für anorganische Chemie*, 1905.

Eftermæle

Margrete Bose døde den 16. juli 1952, 86 år gammel, og blev begravet ved siden af sin mands gravplads på en kirkegård i La Plata. Hendes liv og karriere var i høj grad præget af, at hun var en kvinde i en verden af mænd. Da hun og Emil i 1910 deltog i en stor videnskabelig kongres i Buenos Aires med næsten 1.000 deltagere, var hun ene høne i hønsegården. Margrete var da også sympatisk stemt over for bølgen af kvindefrigørelse, men uden at være feminist eller tage aktiv del i bevægelsen.

Hun opfattede ikke sig selv som rollemodel for unge kvinder med videnskabelige ambitioner. Da hun i 1914 var på besøg i Danmark, bragte Dansk Kvindesamfund en artikel om hende i bladet *Kvinden og Samfundet*, hvori det hedder, at "Foruden fru Curie i Paris ... er Margrete Bose vistnok den eneste kvinde, som beklæder en universitetsprofessors stilling i fysik". Ved samme lejlighed blev hun interviewet af *Roskilde Dagblad*, hvor hun gjorde det klart, at hendes eneste bidrag til kvindefrigørelsen var indirekte, nemlig gennem sit arbejde og sin videnskabelige anerkendelse. "Det er på den måde, jeg bedst kan bidrage til kvindernes frigørelse", sagde hun.

Mens Margrete Heiberg alias Margrete Bose som nævnt er glemt i hendes fædreland, er det ikke tilfældet i Argentina, hvor hun stadig mindes som en videnskabelig pioner og vigtig skikkelse i landets videnskabs- og kulturhistorie. Det meste, der er skrevet om hende, er da også af argentinske forfattere og hovedsageligt på spansk. Den bedste beskrivelse på engelsk er en artikel fra 2005 af Emily Hunter og Lewis Pyenson i tidsskriftet *Saber y Tiempo* (Viden og Tid), der nemt kan findes via Google Scholar.

E-mail:
Helge Kragh: helge.kragh@nbi.ku.dk

Klimagasserne CO_2 og metan agerer helt forskelligt

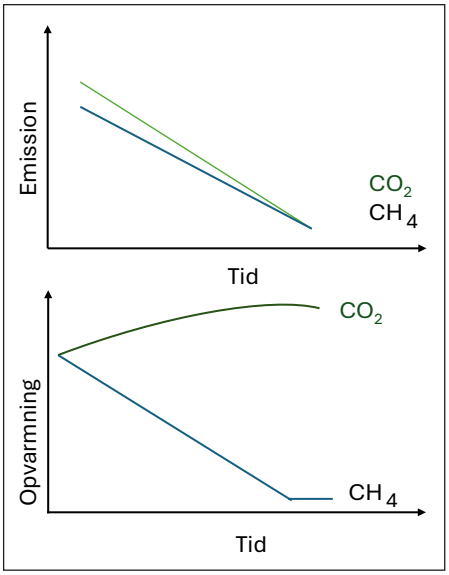
Et faktum som IPCC nu begynder at anerkende.

Af Anker Jakobsen, kemiingeniør

Treparten, Svarer-udvalget og Aarhus Universitet er blevet grundigt vildledt af de gamle rapporter fra FN-klimapanelet IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC er nu begyndt at ændre regnemetode, og har dermed ændret afgørende på forudsætningerne for både Svarer- og Trepartens arbejde og konklusioner. Da IPCC primært har ændret signaler i henseende til klimagasserne CO_2 og metan, følger her en redegørelse om disse gassers opståen og nedbrydning samt om deres forskellige påvirkninger af klimaet, aktualiseret af en nylig afholdt konference med blandt andet Michelle Cain, ekstern ekspert og forfatter til flere skrifter for IPCC, som deltager.

Naturens gang

Planter og træer har den for os mennesker heldige egenskab, at de med



Figur 1. Illustration af sammenhængen mellem klimagasserne CO_2 og metan samt henholdsvis emission og opvarmning over tid. Figuren er fremstillet og modificeret med inspiration fra Michelle Cain.

Foto: Pixabay.

hjælp af energi fra solens lys kan optage kulstof fra luftens CO_2 og omdanne det til korn og træ mv. og samtidig frigive ilt. Når plantestofferne senere nedbrydes i vores og dyrs maver eller ved forrådnelse, udsendes kulstoffet igen som klimagasser, hovedsageligt CO_2. Derudover også som lidt metan, der langsomt også omdannes til CO_2. Dette kulstofkredsløb har i historisk tid sikret et konstant lavt indhold af klimagasser i luften, og dermed sikret de forskellige klimaforhold på jorden vi kender og er vant til. Med den kraftigt stigende afbrænding af fossile energiprodukter kul, olie og naturgas, der har fundet sted de sidste 50 år [1], kan naturens kredsløb nu desværre ikke længere følge med. Med det resultat, at CO_2-indholdet i luften øges og øges. Resultatet er, at vores jord bliver varmere og varmere, med ørkendannelse og klimakatastrofer til følge. For at kunne agere optimalt, er kendskabet til klimagassernes kredsløb derfor en vigtig forudsætning.

CO_2, der er den vigtigste klimagas, tegner sig for cirka 80 procent af den varmedannende drivhuseffekt. Den sorte CO_2, der fremkommer ved forbrænding af fossilt brændsel, har dyrkede planter og skov desværre ikke kapacitet til at optage, så den hober sig op i atmosfæren (og i verdenshavene). Stopper vi i morgen med at brænde fossile materialer, vil temperaturen i verden forblive konstant høj. Og nøjes vi med at reducere udslippet, vil temperaturen fortsætte med at stige, blot langsommere. Den (grønne) CO_2, der fremkommer ved fordøjelse og forrådnelse mv. af plantedele, kommer så at sige fra en plads i planteriget, der muliggør, at den samme mængde CO_2 atter kan optages, og forøger derfor ikke atmosfærens CO_2-indhold.

Vejen fra plantestof til CO_2 kan være både hurtig og langsom

Eksempler:
Havreplanter optager cirka 1,4 kilo CO_2/ kg havre. Når vi spiser og fordøjer havren, udsender vi atter 1,4 kilo CO_2. Når en gris eller en ko spiser korn, bliver noget af kornets kulstof til CO_2 ved fordøjelsen og en anden del bliver til flæskesteg og mælk. Kulstoffet heri bliver først til CO_2, når vi spiser stegen og drikker mælken.

Omdannelsen fra CO_2 til plantestof og tilbage til CO_2 tager længere tid, hvis den er blevet optaget af et træ, der måske bruges til at bygge et hus med. I så fald bliver det sidste CO_2 først frigivet, når huset nedrives og tømmeret brændes.

Endnu længere cyklustid kan forekomme, hvis træets blade falder i en mose eller sø. Men selv om genkomsten af CO_2 herfra måske tager flere hundrede år, så modsvares det af en "ledig CO_2-plads i planteriget". Så længe CO_2 kommer fra planter, der har levet i historisk tid (i modsætning til fossile stoffer,

der er millioner år gamle) belaster det således ikke klimaet. Denne udlægning har professorerne Pete Smith og Andy Reisinger fra University of Aberdeen, der begge har en fremtrædende rolle i IPCC, bekræftet over for mig.

Metan

Metan, der står for cirka 20 procent af jordens "drivhusopvarmning", har en livscyklus, der er markant forskellig fra CO_2. Det er per kilo en langt stærkere drivhusgas end CO_2, men i modsætning til CO_2 lever det ikke ret længe i luften (i gennemsnit 12 år) [2], hvorefter det bliver omdannet til CO_2. Metan kan også opdeles efter oprindelse i sort og grønt metan. Det sorte metan fremkommer for eksempel ved udvinding af kul og olie, der ved udvindingen indeholder større eksempel biologisk. CO_2 og salte heraf er den mest stabile forbindelse for kulstof under iltholdige forhold.

Det grønne metan fremkommer typisk ved nedbrydning (fordøjelse/forrådnelse) af organisk stof, når nedbrydningen sker under forhold med for lidt ilt, som for eksempel i jord, der står under vand, og i en kos mave. Det grønne metan bliver som nævnt omdannet til grøn CO_2, der genoptages i planteriget. Det grønne metan bidrager således kun til en korterevarende drivhuseffekt, men ikke til den ulyksalige fortsatte ophobning af drivhusgas.

Den kendte drivhusgasekspert Dr. Michelle Cain, som blandt andet har informeret kommissionen i Bruxelles om IPCC, har ved sin tale ved en konference i Danmark for nylig blandt andet afsløret den viste illustration i figur 1,

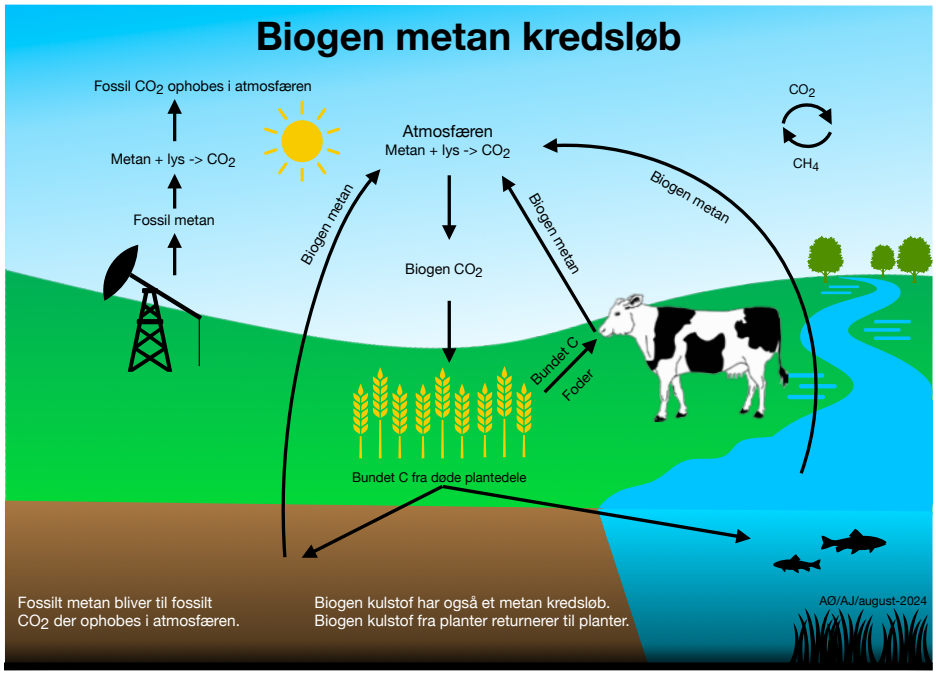


Illustration af det biogene metankredsløb. Til venstre ses, hvordan det sorte metan, der for eksempel fremkommer i forbindelse med udvinding af olie, med en halveringstid på 12 år, omdannes til sort CO_2, der forbliver i atmosfæren. Til højre ses, hvordan grønt metan fra anaerob nedbrydning af plantestof i dyr, moser og søer omdannes til grøn CO_2, der, i modsætning til den sorte CO_2, genoptages i planteriget, og derfor har en tidsbegrænset indvirkning på klimaet. Figuren er fremstillet af Astrid Østerby.

eller mindre mængder metan. En alt for stor del af dette metan havner desværre i atmosfæren, selvom det ville være meget billigt at undgå størstedelen af emissionen (for eksempel er en flair i olieindustrien i middel kun cirka 83 procent effektiv). Det sorte metan bliver som det grønne metan omsat i atmosfæren til CO_2. Men desværre resulterer omsætningen i dannelsen af sort CO_2, der blot bliver ophobet i atmosfæren.

Ud over den skitserede nedbrydning af metan i luften via en 1. ordens reaktion med frie radikaler, nedbrydes metan sideløbende også på andre måder, for side 27, der tydeligt viser forskellen på CO_2 og metan som klimagas. Figuren belyser, hvad der sker, hvis man reducerer et givet udslip af CO_2 eller metan. Det ses, at så længe der slippes sort CO_2 ud, vokser opvarmningen og forbliver høj, selv efter ophør af ny emission, hvorimod effekten fra en ophørende metankilde modsvares af en ophørende drivhuseffekt.

Der er i tidens løb gjort mange forsøg på at beskrive klimaeffekten af både CO_2 og metan i en formel (for eksempel ved at gange metanmængden med 28 og addere produktet til CO_2-mængden [3]). Som bekendt beskrives både en fabriksskorsten og et tordenskrald ved sin højde, men det giver jo ingen mening at lægge disse to sammen. Ligeså er det efter min mening med klimaeffekten fra CO_2 og fra metan. De bør også beregnes og håndteres hver for sig.

FN's klimaorganisation IPCC

For at lave en simpel måde at opgøre de enkelte landes udledning af sort CO_2, har IPCC udviklet en regnemodel. Da CO_2 fra planteriget kører i en karrusel, har man af nemheds grunde valgt at undlade både optag og emission fra planter. Men da IPCC tegnes af mange og skiftende ledere fra 170 lande, er det sket, at nogle forfattere korrekt har undladt at indregne planternes optag af CO_2, men alligevel medregnet nogle af de plantebasserede emissioner af klimagasser. Denne fejl er imidlertid allerede rettet mange steder i 2023-udgaven af IPCC's rapport, og nu for det grønne metans vedkommende "skåret ud i pap" af Michelle Cains.

Det er således afgørende vigtigt, at hele verden, inklusive Danmark, fastholder fuld fokus og energi på substitution af de sorte energistoffer, hvorimod vi kan tage det grønne metan lidt mere afslappet og lade være med at forsøge at omregne grønt metan til sort CO_2. Da denne erkendelse bryder med de tidligere, mere firkantede IPCC-holdninger, er det vigtigt, at disse justeringer hurtigst muligt finder vej til universiteter, ministerier og regeringen.

E-mail:
Anker Jakobsen: ajj@c.dk

Referencer
1. Hannah Ritchie and Pablo Rosado (2017) - "Fossil fuels" Published online at OurWorldinData.org: https://ourworldindata.org/fossil-fuels.
2. Mukesh Doble, Anil Kumar Kruthiventi, Alternate Energy Sources, Editor(s): Mukesh Doble, Anil Kumar Kruthiventi, Green Chemistry and Engineering, Academic Press, 2007, Pages 171-192, ISBN 9780123725325, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123725325500080.
3. Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC's regnemodel er upædagogisk og forståelsesforvridende

FN's klimapanel IPCC's forsøg på at gøre beregning af udslip af fossile drivhusgasser enkel har resulteret i en katastrofal regnemodel.

Af Anker Jakobsen, kemiingeniør

FN's klimapanel IPCC (International Panel on Climate Change) har udarbejdet, og af medlemslandene fået godkendt, en model for, hvordan man beregner de enkelte landes udslip af fossile drivhusgasser. For at gøre beregningen så enkel som mulig, har man "firkantet" valgt at holde drivhusgasser fra planter ude af beregningsmodellen efter devisen, at det grønne kulstof blot kører i ring.

I en moderne verden, hvor mange kun når til overskrifterne, har denne simplificering imidlertid vist sig at føre til katastrofale fejltolkninger, som jeg senere skal liste op. Men først lidt biologi. Når planterne vokser, optager de kulstof i form af CO_2 fra luften og omdanner dette kulstof til plantestof, for eksempel til stivelse i korn og cellulose i stråene. Det fremgår af støkiometriske beregninger (og målinger), at der til dannelse af 1 kilo plantestof (tørstof) medgår cirka 1,4 kilo CO_2.

Efterlades plantestoffet på marken, frigives kulstoffet atter som 1,4 kilo CO_2/kg plantestof. Men høstes produkterne, kan omdannelsen tilbage til CO_2 styres, så en verden af mennesker og dyr bliver mætte, og/eller en masse fossil energi bliver fortrængt ved brug af plantestoffet som energikilde. Dette kan for eksempel være i form af halm, biogas, biodiesel, bioætanol og træpiller. (Danmark får p.t. 75 procent af sin energi fra plantestof. Uden dette ville Danmarks CO_2-balance se meget sort ud).

Manglende indregning af de grønne planters arbejde betyder imidlertid desværre:

1. At rigtig mange tænker: "Når ikke de grønne planter skal tælles med, har de nok ikke nogen værdi". Og så kan man jo lige så godt undvære landbruget, og for den sags skyld lave produktionsskov til urørt skov.
2. Når planteavl ikke tæller hos IPCC, så må landbruget jo sammenlagt være CO_2-udledende, da de bruger olie til traktoren og til gødningen.
3. For yderligere at træde i misforståelsen, så er IPCC's tanke naturligvis, at det ikke kun er det optagne CO_2, der skal holdes ude, men også den emission der fremkommer ved nedbrydningen af plantestoffet, hvor og hvordan denne end foregår. Dette punkt er der desværre en del (også såkaldte forskere), der kløjes i. Således husker alle, at optaget fra Danmarks marker (svarende til cirka 38 millioner tons CO_2/år) ikke skal tælles med, men erindrer ikke altid, at CO_2 og metan fra dyr og kulstofrige marker og moser mv. alle kommer fra planter.
4. Et afgørende problem er dermed, at befolkningens agtelse og forståelse for agerbrug reduceres til en forretning, der laver mad, som vi lige så godt kan købe i udlandet. Med det resultat, at politikere og kapitalstærke mæcener tror, at de gør klimaet en tjeneste ved at udtage jord fra landbrugsdrift.
5. Ved at negligere betydningen af landbrugets store energiproduktion sker der heller ikke nogen optimering af denne (for eksempel kan en roemark optage cirka 32 tons CO_2/ha/år, hvor en hvedemark ligger på cirka 18 tons og en middel produktionsskov på cirka 14 tons CO_2/ha/år).

Foto: Pixabay.

Min pointe med dette er, at man på en eller anden måde skal sørge for, at naturens rette sammenhæng kommer frem i lyset. Det kunne for eksempel ske ved, at dyrkerne af halmen til et varmeværk får bare lidt af den belønning, som varmeværket får ved at bruge halm i stedet for olie mv.

En anden fremgangsmåde kunne være, at nogle af de relevante og anerkendte universiteter udsender en "officiel" letforståelig beskrivelse af IPCC's regnemodeller, hvor det understreges, at selv om de grønne produkter fra landbruget ikke indregnes i IPCC's formler, er de i høj grad forudsætningen for, at vi kan reducere brugen af fossil energi og dermed nå Danmarks klimamålsætning.

E-mail:
Anker Jakobsen: ajj@c.dk

KEMISK FORENING
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø
www.chemsoc.dk
The Danish Chemical Society
Founded 1879

Besøg på Hauchs Physiske Cabinet

Af Børge Riis Larsen, lektor emeritus, cand.scient. & art., ph.d. og Asbjørn Petersen, lektor, cand. scient., formand for Dansk Selskab for Historisk Kemi

Lørdag den 28. september 2024 gik *Dansk Selskab for Historisk Kemi*s sommerudflugt til *Hauchs Physiske Cabinet* i Sorø.

Hauchs Physiske Cabinet indeholder omkring 700 fysiske og kemiske instrumenter fra tiden omkring 1800. Det er en af Europas største samlinger af sin art.

Besøget omfattede en rundvisning i især de kemirelaterede dele af samlingen ved Sorø Akademis lektor i kemi m.m., Helene Krarup. Herunder blev adskillige opstillinger og instrumenter demonstreret. Efter rundvisningen kunne deltagerne frit besøge de øvrige dele af samlingen under fortsat kyndig assistance af Helene Krarup.

Samlingen blev købt af Kong Frederik VI i 1815 og skænket til Sorø Akademi i 1827. I dag kan samlingen ses i *Hauchs Physiske Cabinet*, som er et videnskabshistorisk museum, der rummer kemiske og fysiske instrumenter samlet af Adam Wilhelm Hauch i perioden 1790-1815. På museet er de mange genstande organiseret efter emne, for eksempel udstyr til undersøgelse af mekanik, optik, elektricitet, kemi og gasser. Samlingen omfatter også genstande, der er tænkt til almindelig underholdning, men som samtidig har en naturvidenskabelig pointe. Samlingernes genstande befinder sig dels frit fremme dels i specialdesignede montrer.

Adam Wilhelm Hauch (1755 -1838) var en dansk officer og hofmand, overhofmarskal, overkammerherre, overstaldmester, fysiker og samler.

Foto: Asbjørn Petersen.

Indgangen til salen med kemisk udstyr.

Foto: Helene Krarup.

Besøgets deltagere.

I 1788 foretog Hauch en stor udenlandsrejse, som førte ham gennem Tyskland, Polen, Holland, Frankrig og England. Overalt gjorde han bekendtskaber med fremragende naturvidenskabsmænd. Og navnlig fik den franske kemiker A.L. Lavoisier stor indflydelse på ham. I 1789 kom Hauch hjem fra sin videnskabelige dannelsesrejse for at blive chef for den kongelige staldetat, og han skulle bo i Staldmestergården i Tøjhusgade. Her indrettede han på første sal sit fysiske kabinet med de mange instrumenter, han havde anskaffet sig under og efter sin udenlandsrejse.

Hauch gjorde ikke selv store opdagelser; men han forbedrede bestående forsøgsopstillinger og arbejdede på flere måder med naturvidenskabelig formidling. For eksempel kunne Hauch demonstrere, at når oxygen brænder, dannes der vand. Man forstod nu, at vand ikke er et grundstof, men er sammensat af hydrogen og oxygen.

I 1827 kom samlingen som nævnt til Sorø Akademi som en gave fra Frederik VI. Siden 1976 har samlingen været under opstilling og istandsættelse efter at have stået på pulterkammer i 75 år. Samlingerne blev opstillet af blandt andet Hemming Andersen, lektor i fysik og kemi på Akademiet.

Efter besøget var Selskabet vært ved en frokost i restauranten Tre Konger.

Man kan læse meget mere om Hauch og samlingen på museets hjemmeside: awhauch.dk.

E-mail:
Asbjørn Petersen: ap@esteban.dk

Tyske forskere gør nye opdagelser om glyphosat

For bedre at belyse kilder til glyphosat har tyske forskere langsigtede tidsserier af koncentrationer af glyphosat og dets transformationsprodukt aminomethylphosphonsyre (AMPA).

Af Hanne Christine Bertram, hcb@techmedia.dk

Undersøgelsen tog udgangspunkt i en omfattende og stor metaanalyse med data fra forskellige steder i USA og Europa. De amerikanske data bestod af prøveudtagningssteder fra United States Geological Survey. I alt indgik der data fra 18 lokaliteter fordelt over hele USA, der blev udvalgt baseret på tilgængeligheden af langsigtede tidsserier af data for glyphosatkoncentrationer med en tilstrækkelig tidsmæssig opløsning (minimum 12 prøver per år).

De europæiske data bestod af i alt 73 lokaliteter fordelt i Frankrig (38 lokaliteter), Sverige (3 lokaliteter), Tyskland (18 lokaliteter), Holland (7 lokaliteter), Storbritannien (1 lokalitet), Italien (2 lokaliteter) og Luxembourg (4 lokaliteter). Stederne blev valgt ud fra, om der var tilgængelige data for glyphosatkoncentrationer med tilstrækkelig tidsmæssig opløsning. Nogle steder blev desuden udvalgt, da de kunne give information om særlige aspekter, såsom steder, der påvirkes af spildevandsrensningsanlæg, der modtager husspildevand.

Herbicidanvendelse kunne ikke forklare europæiske data

Meget opsigtsvækkende viste studiet, at de amerikanske data udviste variationer i glyphosat og AMPA, når flodstanden er høj, hvilket indikerer en regninduceret mobilisering af glyphosat efter påføring af herbicid på landbrugsarealer. I modsætning hertil fandt forskerne, at de europæiske data viste koncentrationsmønstre af glyphosat og AMPA med en cyklisk, sæsonbestemt variation, der korrelerede med variationer i spildevandsmarkører såsom lægemidler, hvilket er i overensstemmelse med den hyppige påvisning af disse forbindelser i spildevandsrensningsanlæg. Metaanalysen viste tydeligt, at kommunalt spildevand i mere end et årti har været en meget vigtig kilde til glyphosat. Derudover viser europæiske flodvandsdata ret høje og konstante massestrømme af glyphosat i løbet af året, hvilket ikke forventes fra herbicidpåføring.

Glyphosat kan være et omdannelsesprodukt fra vaskemiddeltilsætningsstoffer

Baseret på disse observationer vurderer de tyske forskere, at der må være en kilde til glyphosat, som hidtil har været ukendt. AMPA er kendt for at være et transformationsprodukt ikke kun af glyphosat, men også af aminopolyphosphonater, der anvendes som antiskaleringsmidler i mange applikationer. Da aminopolyphosphonater bruges i vaskemidler i Europa, men ikke i USA, foreslår forskerne, at glyphosat også kan være et omdannelsesprodukt af aminopolyphosphonater.

■ Studiet "Glyphosate contamination in European rivers not from herbicide application?" af Schwientek et al. er publiceret i Water Research, 2024, vol 263, artikel no. 122140.

Mikrolab Aarhus A/S og Frisenette ApS fusionerer

Mikrolab Aarhus A/S og Frisenette ApS er blevet ét samlet selskab. Ledelsen ser denne beslutning som et naturligt skridt for at håndtere markedets behov for innovation og de stigende regulatoriske krav.

Ejerskabet i det fusionerede selskab vil være ligeligt fordelt mellem Pia Laursen og Henrik Fjeldgaard, som begge fortsætter i organisationen som henholdsvis administrativ medarbejder og sælger, mens René Trinderup fortsætter som direktør.

Indtil videre er eneste ændring firmanavnet, der skifter til Mikrolab - Frisenette A/S. I forhold til al kontakt vedrørende forespørgsler og bestillinger er alle mails og telefonnumre stadig de samme.

Afsender: TechMedia A/S, Naverland 35, DK-2600 Glostrup, tlf. 43 24 26 28 | **Abonnementshenvendelser:** abonnement@techmedia.dk

BRUKER

Quality Control in the Food & Beverage Industry with FT-NIR Spectroscopy

■ **MPA II:**
Unrivalled flexibility for your daily QA/QC work as well as for sophisticated method development.

■ **TANGO:**
The next generation FT-NIR spectrometer with touch screen operation and intuitive user interface.

■ **MATRIX-F:**
On-line FT-NIR for direct measurements in continuous or batch processes, enabling a close production control.

FT-NIR is a powerful and effective technology for control of raw materials, intermediates and finished products. The major application areas of NIR spectroscopy include dairy and meat, beverages, edible oils, bakery ingredients and condiments as well as grains and oil seeds.

In contrast to most wet-chemical and other reference methods, FT-NIR technology is quick, cost-effective, non-destructive and safe, since it does not use chemicals, solvents or gases.

Bruker Optics has the industry's most comprehensive FT-NIR product-line; from the very intuitive FT-NIR spectrometer TANGO to the versatile Multi Purpose Analyzer MPA II and award-winning MATRIX systems for online measurements.

Contact us for more details:
info.bopt.nordic@bruker.com • www.food-analysis-nir.com

Innovation with Integrity

FT-IR