

Befæstet af begroning

Løsrevne krystaller leverer koden.

Af Isaac Appelquist Løge¹,
Benaiah U. Anabaraonye²
og Philip Loldrup Fosbøl¹

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

² Danish Offshore Technology Centre

Transport af energi og ressourcer er overalt omkring os, og stopper transporten, stopper verden. Gas og olie, varme fra forbrændingsanlægget, blodet i vores årer og vandet i varmevekslere. Alle disse transportprocesser er truet af begroning, som enten kan tilstoppe transportrør og blodårer, eller sænke effektiviteten af ledningsevnen i varmevekslere. Den gængse opfattelse er, at når væksten først har sat sig, sidder den fast. Men nye studier tyder på, at løsrivelsen af materiale kan være mere betydelig end først antaget, og at flowhastighed og overfladekemi kan være signifikante for, hvor meget materiale der bliver siddende. Med viden om, hvilke faktorer der er afgørende for opbygningen af begroning, vil man kunne køre processer mere bæredygtigt, spare energi og potentielt lagre mere CO₂ i undergrunden.

Forebyggelse og bekæmpelse af begroning

For nyligt testede jeg, hvor længe det tog

at koge vand til en kop te, før og efter jeg havde afkalket min elkedel. Resultatet blev, at jeg sparede 10 ører per kop te. En beskeden sum, men min primære arbejdsfunktion er heller ikke at koge vand. Af netop denne årsag er begroning af overflader et stort problem for varmevekslere, da varmeledningsevnen bliver betydeligt nedsat af et lag kalk. Og på samme måde er krystallinsk begroning i transportrør også et problem, da de sænker diameteren og hæver tryktabet.

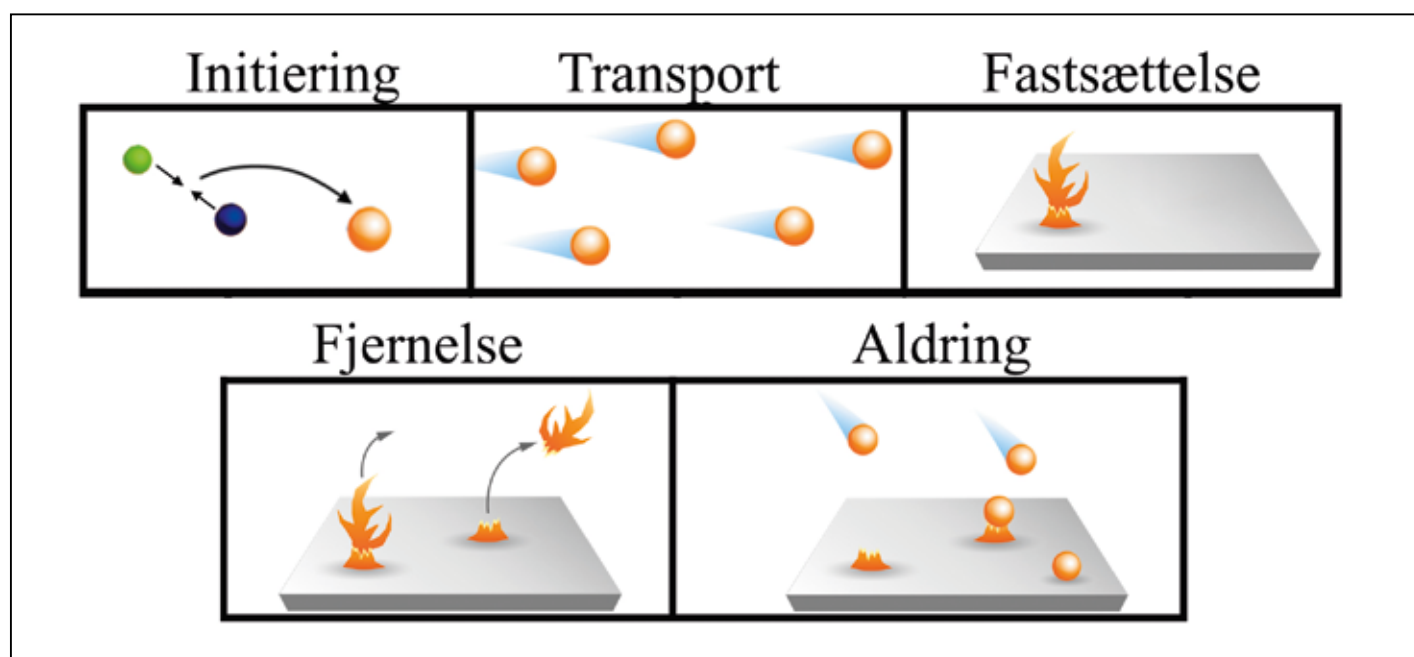
Forebyggelse og bekæmpelse af begroning beror på en præcis forståelse af de underliggende processer. Traditionelt bliver begroning opdelt i en 5 x 5 matrix [1], hvor den ene akse beskriver, hvilke overordnede processer der sker, og den anden hvilken karakter materialet der gror, består af. I figur 1 kan det ses, hvilke trin der typisk er involveret i begroning. Hvis man forstår disse processer fuldstændig, vil man kunne opstille en model, som fortæller en hvor meget, hvor hurtigt og hvor begroningen finder sted. Og med denne model vil det være en smal sag at finde det helt optimale tidspunkt at rense eksempelvis sin elkedel.

Inden for krystallinsk begroning har der historisk været et stort fokus på nukleation, transport og adsorption, og

det har været underprioriteret at undersøge, hvordan løsrivelse og overfladers forandring i tid påvirker den overordnede proces. Nye studier tyder dog på, at løsrivelsen har en væsentlig effekt og bør tænkes ind i de forudsigelsesmodeller, som bliver udviklet.

Fjernelse ved flow

Når væske er involveret i begroning, bærer det både på kemi, som er klar til at reagere, og på en kraft som påvirker alt i dets vej. Traditionelt er forståelsen, at højere flowhastighed giver en større kraft på sine omgivelser, hvilket vil lede til, at begroningen vil løsrive sig i en større grad. Et nyt studie har dog forklaret et tilsyneladende ulogisk resultat: Nemlig at mest materiale løsriver sig ved lavere flowhastigheder [2]. Den logik, der blev præsenteret, viser, at den struktur, som krystallerne gror med i dette tilfælde, var mere afgørende, end hvilken kraft som blev påført dem. I tilfældet med lav flowhastighed stod begroningen alene som et enligt træ på en bakke. I modsætning til under højt flow, hvor begroningen vil ske tæt, som en skov af krystaller. Krystallerne står i hinandens skygge, og derfor vil den enlige krystal være mest tilbøjelig til at blive løsrevet



Figur 1. De fem processer, som typisk er involveret i begroning: Initiering, transport, fastsættelse, fjernelse og aldring. Vigtigheden af de forskellige processer varierer efter, hvilket materiale der sætter sig. Eksempelvis har fjernelsen af materiale normalt haft større betydning for bløde materialer, såsom polymerer og biofilm, end hårde materialer såsom krystaller og partikler.

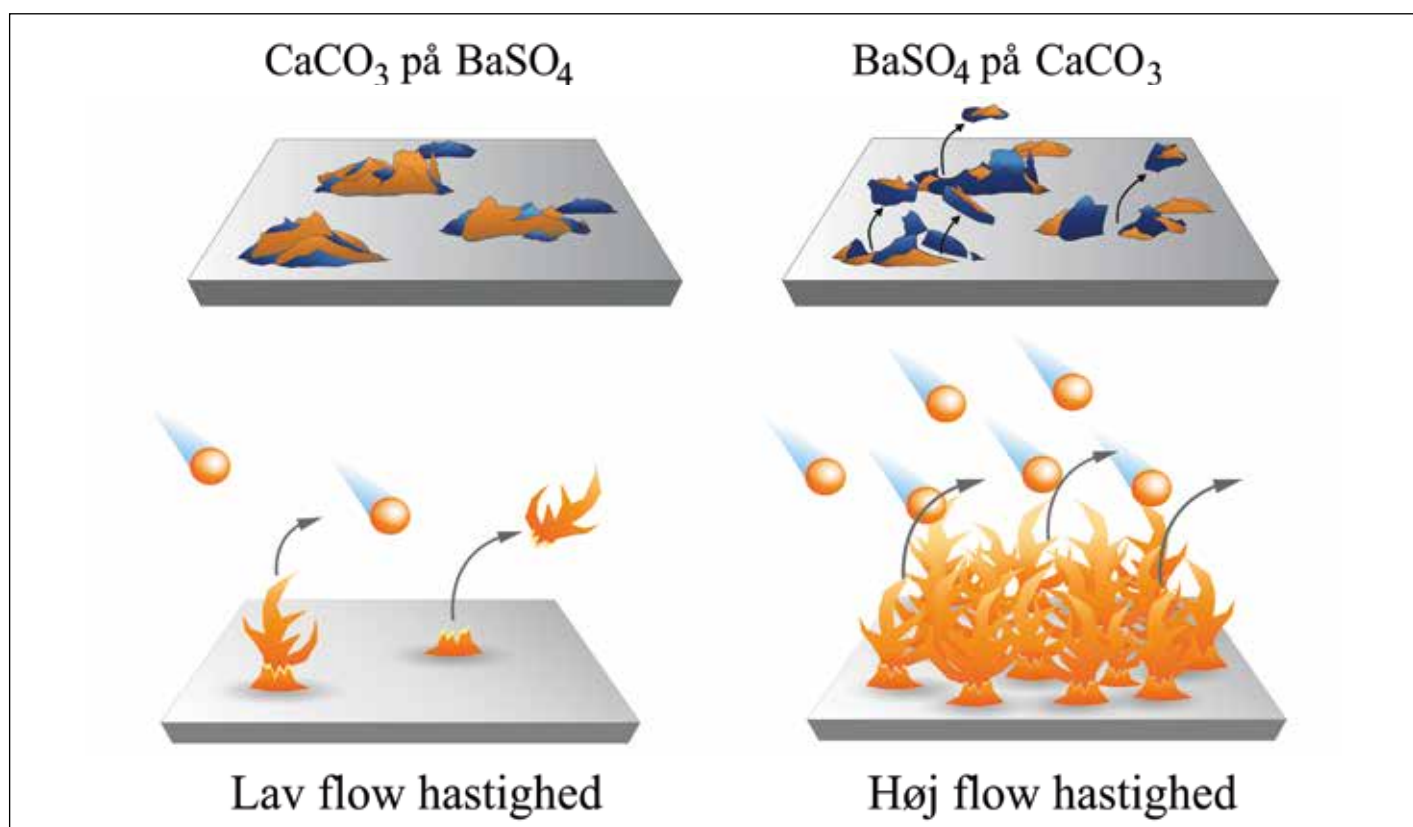
af flowfeltets kræfter. Dette koncept er illustreret i figur 2.

Hvem er stærkest: Calcite eller barite?

Et andet eksempel, hvor løsrivelse har været overset, er tilfældet, hvor begro-

ningen består af flere typer krystaller. Et nyligt studie understregede vigtigheden af dette ved at undersøge interaktionen mellem to mineraler, som ofte er set i begroingsprocesser, nemlig calcite og barite [3]. Her viste det sig, at hvor overflader, som allerede var dækket med ba-

rite, forhøjede hvor hurtigt calcite satte sig fast, mens det omvendte gjorde sig gældende for barite, når calcite allerede var til stede. Bariten satte sig så godt fast på calciten, at, idet den knækkede af, tog den noget af den originale barite med sig, som kan ses i figur 2.



Figur 2. Fjernelse grundet flow eller overfladekomposition. For at forudsige, hvor meget og hvor begroning finder sted, er det vigtigt at forstå vigtigheden af at forstå de underliggende mekanismer.

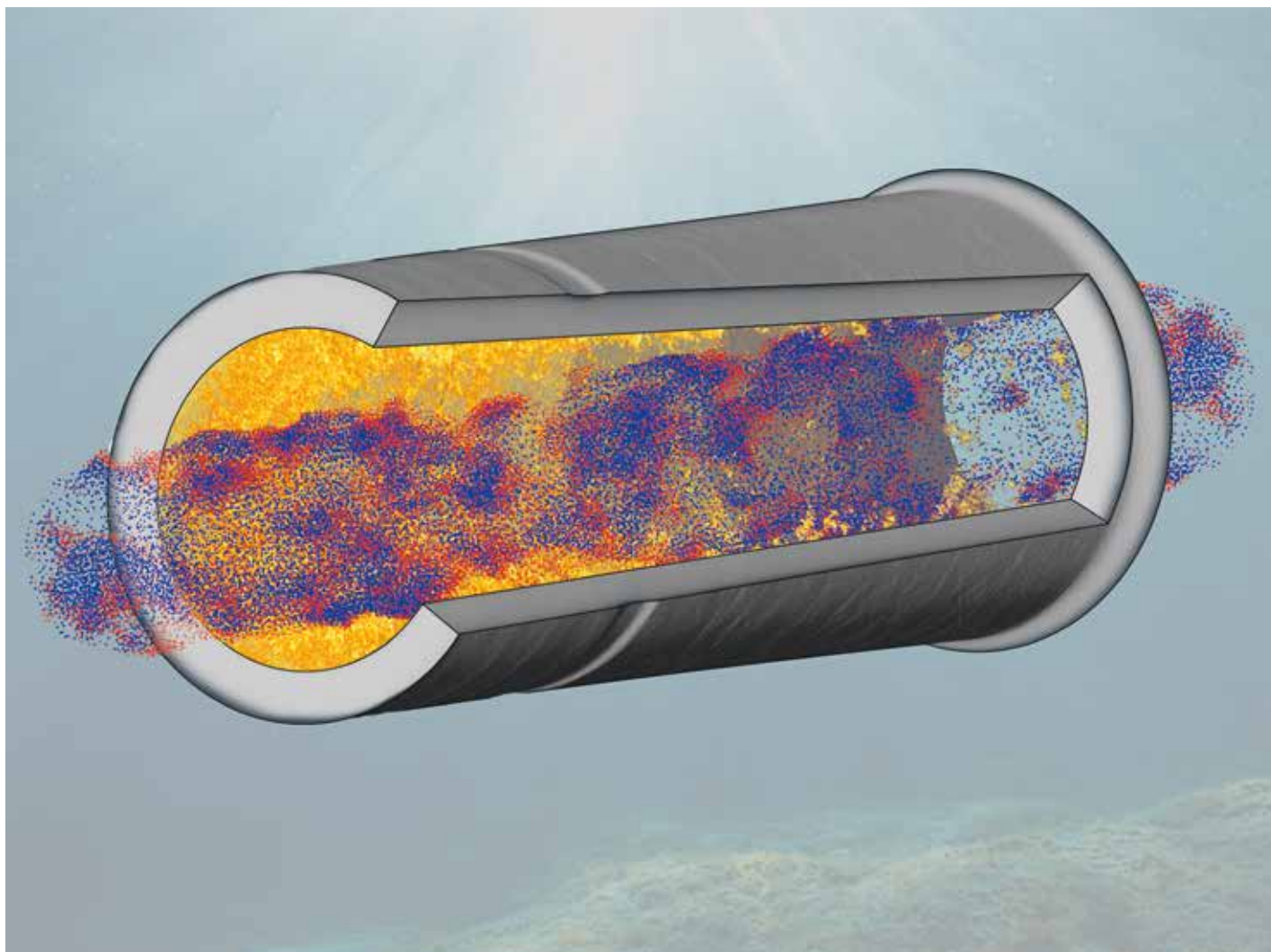
Modtag løbende nyhedsbreve fra nyhedssitet

KEMIFOKUS

Tilmeld dig i dag på: **www.kemifokus.dk**
— og få dedikerede nyheder fra branchen



- KemiFOKUS i samarbejde med Dansk Kemi



Begroning er en kompleks proces, som kun kan forstås til fulde med systematiske eksperimenter og præcise modeller. Overflade, flow, koncentration er kun nogle af de parametre, som skal overvejes.

Perspektiver for lagring af CO₂ i undergrunden

Ikke nok med at denne viden kan spare mange penge ved at optimere, hvordan og hvornår man intervenserer, så kan det også have vigtige implikationer for lagring af CO₂ i under-

grunden. CO₂-lagring sker enten ved strukturel lagring, hvor små gasbobler lægger sig i den porøse jord, eller ved at blive lagret som sten ved at blive omdannet til mineraler. Når gasen bliver injiceret i porøs undergrund, er det vigtigt, at ikke al udfældningen sker ved indgangen, da dette vil sænke kapaciteten af et reservoir. På den anden side, når CO₂ bliver lagret direkte som sten, er udfældningsprocesserne sammenlignelige med dem, som sker i din elkedel. Derfor, uanset om man skal optimere varmevekslere, transport af energi og materialer eller CO₂-lagring, er det vigtigt at have en fundamental forståelse for principperne omkring begroning.

E-mail:

Isaac Appelquist Løge: isacl@kt.dtu.dk

Referencer

1. Epstein, N. (1983). Thinking about Heat Transfer Fouling: A 5 × 5 Matrix. *Heat Transfer Engineering*, 4(1), 43-56. <https://doi.org/10.1080/01457638108939594>.
2. Løge I.A., Bentzon J.R., Klingaa C.G., Walther J.H., Anabaraonye B.U., Fosbøl P.L. Scale attachment and detachment: The role of hydrodynamics and surface morphology *Chem. Eng. J.*, 430 (P2) (2021), Article 132583, 10.1016/j.cej.2021.132583.
3. Løge, I.A., Anabaraonye, B.U., & Fosbøl, P.L. (2022). Growth mechanisms for composite fouling: The impact of substrates on detachment processes. *Chemical Engineering Journal*, 446(P4), 137008. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137008>.

■ Lav din egen test på, hvornår din elkedel skal rengøres

Afkalkning af elkedler er vigtigere i Danmark end i mange andre lande, fordi vi har meget hårdt vand. Og med hver millimeter af kalk, der sætter sig i din elkedel, des mere energi bruger du på at koge vand. Derfor gives her de vigtigste tal, du skal vide, hvis du skal finde ud af, om det er tid til at afkalke din elkedel.

Find ud af, hvor meget energi din elkedel bruger (energi). Der står typisk, hvor mange watt-timer elkedlen er på. Typisk er dette mellem 2-3 kWh.

Dernæst; fyld elkedlen med 1 liter vand, og idet du starter den, sætter du en timer. Med tiden det har taget at koge en liter vand (tid), kan du nu beregne, hvad det har kostet (pris).

$$\text{Pris (kr.)} = \frac{\text{Energi (kWh)}}{60 \text{ min.}} * \text{tid (min.)} * \text{elpris} \left(\frac{\text{kr.}}{\text{kWh}} \right)$$

Husk at holde øje med, hvordan prisen stiger!