

# Nye modeller til forudsigelse af risiko for korrosion

**Korrosion og tilsmudsning kan forårsage problemer for kedler og overhedere i kraftværker fyret med biomasse. En kombination af CFD-modellering og profilering af korrosionsrisiko kan forlænge overhederes driftslevetid, give større kedelevitet og spare vedligeholdelsesomkostninger.**

Inden for det sidste par årtier er der kommet øget fokus på at ændre kulfyrede kraftværker til biomassefyrede kraftværker som led i de nationale grønne energiplaner både i Danmark og resten af den vestlige verden. Denne overgang er ikke problemfri, da biomassebrændsel indeholder store mængder korroderende stoffer, som f.eks. alkalisalte. Biomasse er også forbundet med store ophobninger af askeaflejringer i kedlerne på overhederne bedre kendt som tilsmudsning. Kraftværkerne kan derfor spare store summer på f.eks. nye overhedere såvel som vedligeholdelse ved at minimere problemerne med korrosion i kedlerne og/eller problemer med tilsmudsning. Det kan endvidere give en højere effektivitet i kedlerne og færre utilsigtede nedlukninger.

Hos FORCE Technology har vi fokus på udvikling af ny teknologi, der kan håndtere de udfordringer, som industrien og energisektoren står overfor. For at kunne opfylde anmodningen om metoder til reduktion af korrosionsproblemer er det nødvendigt med et indgående kendskab til brændsel, strømningsforløb og forbrændingsprocesser. Derfor har FORCE Technology kombineret CFD-modellering med nyudviklede modeller til forudsigelse af risikoen for korrosion i biomassefyrede anlæg.

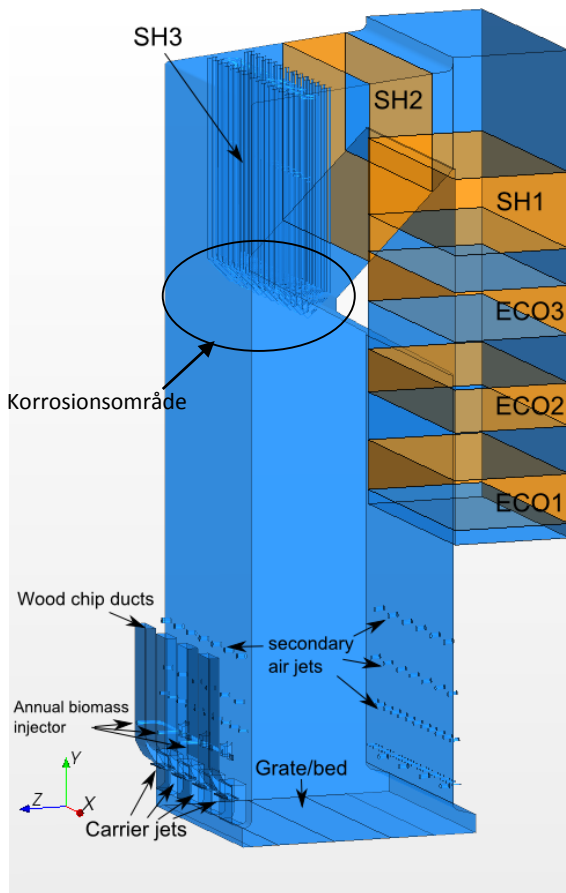
Som led i denne udvikling har Force Technology understøttet Svend S. Petersen, der er studerende ved Danmarks Tekniske Universitet, i forbindelse med hans kandidatafhandling: *CFD Modelling of a Biomass Incinerator for Prediction of Risk Areas for Corrosion Damages. (CDF-modellering af et biomasseforbrændingsanlæg med henblik på forudsigelse af risikoområder for korrosionsskader.)* Svend S. Petersen blev tildelt DANSIS kandidatpris 2012<sup>1</sup> for projektet. Med henblik på prøvning og verificering af modellerne i afhandlingen blev der etableret et samarbejde med Verdo Produktion A/S.

## Et casestudie - Verdo

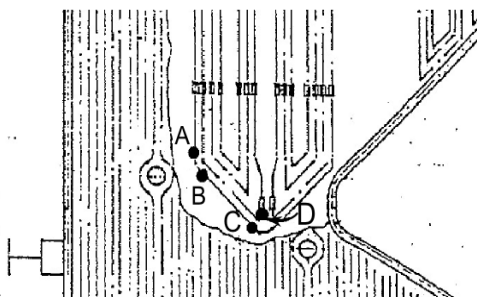
Verdo-anlægget blev for nylig ombygget fra et kulfyret anlæg til nu at være et kraftværk udelukkende fyret med biomasse. Ved at gøre dette oplevede Verdo en stor stigning i korrosionsforekomsten i deres overheder (SH3) placeret direkte over risten, se Figur 1 Figur af simuleret domæne med kedlen med overheder og economisere.

Den høje korrosionsforekomst resulterede i en betragteligt lavere driftslevetid for overhederen. Denne korrosion blev veldokumenteret via målinger og udgjorde en fremragende reference til validering af den udviklede korrosionsmodel, se Figur 2 og Figur 3.

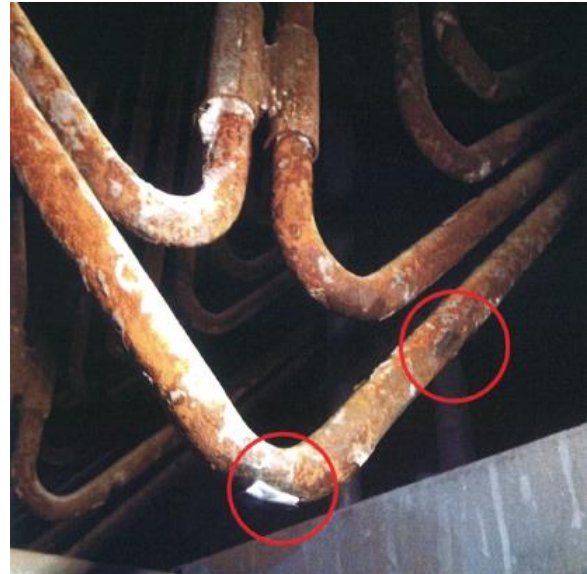
<sup>1</sup> <http://dansis.dk/default.aspx?id=80>



**Figur 1** Figur af simuleret domæne med kedlen med overheder og economisere.



**Figur 2** Skitse af korrosionsmålinger på SH3.



**Figur 3** Billede af korrosionsskader på SH3.

## Modeludvikling

I forbindelse med udvikling af en model til forudsigelse af risikoområder for korrosion i biomassefyrede kraftværker var der fokus på følgende hovedemner: Højtemperaturkorrosion i aflejringer af biomasseaske, kemiske reaktioner i aflejringerne og røggasser, udledning af kritiske stoffer fra forbrændingen af biomassen og aflejningsmekanismer. Dette resulterede i følgende tre hovedmodeller til simuleringen: En LEJEMODEL til simulering af frigivelse af korroderende stoffer fra risten, en aflejningsmodel for grovaske og en korrosionsmodel på baggrund af risikoen for korrosion på metaloverflader i kedlen.

### Modellering af frigivelse af korroderende stoffer fra risten ved brug af LEJEMODELLEN.

For at opnå frigivelse af korroderende stoffer og forbrænding af træflis på risten blev der anvendt en LEJEMODEL tilvejebragt af Force Technology. Modellen blev tilpasset fra et stokerhalmfyr med henblik på håndtering af træflis fordelt ved brug af sprederanlægget. LEJEMODELLEN bruger varmestråling i fyret til risten til at beregne forbrændingen af brændslet, og derved etableres der en temperaturprofil

for risten og frigivelse af røggasstoffer inkl. de korroderende gasser.

### Korrosionsmodellering

Der var behov for at udvikle en korrosionsrisikomodell velegnet til CFD-modellering. Korrosionsmodellen er baseret på de kemiske reaktioner mellem meget korroderende alkalisaltaflejringer på metaloverfladerne i kedlen, overfladetemperaturen på metallet og koncentrationer af ilt såvel som sulfater og alkalisalte i røggassen. Enhver af disse har en tilbøjelighed til at forårsage korrosion. Ved at vurdere dem på metaloverfladerne giver modellen en endelig sandsynlighed for korrosion mellem 0 og 1, hvor 0 er lav risiko for korrosion, og 1 er høj risiko for korrosion.

### Modellering af grovaskeaflejring

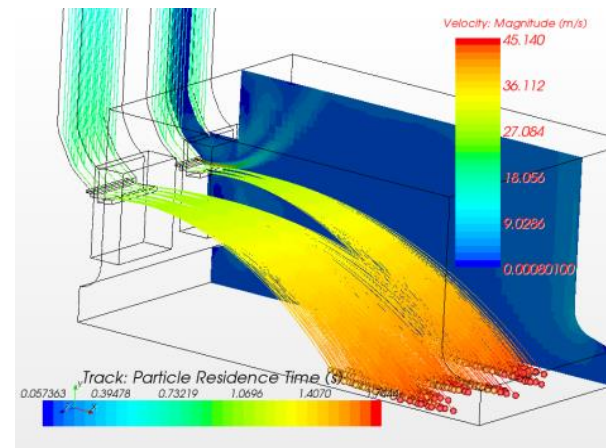
Områder med høje forekomster af aflejringer er forbundet med korrosionsproblemer og bør medtages i den endelige korrosionsvurdering. Aflejringen af aske og de efterfølgende korroderende alkalisalte blev modelleret med en ny aflejningsmodel for grovaske ved brug af lagrangianske partikler. Modellen fastslår, om en askepartikel vil klæbe sig til overfladen eller springe tilbage på grund af partiklens kemiske indhold, partiklens temperatur, væggenes temperatur og stødvinklen.

## Simulering af korrosion i et kraftvarmeværk ved hjælp af CFD

Korrekt simulering af korrosionsrisikoen forudsætter anvendelse af en detaljeret CFD-model. Dette omfatter simulering af brændslets forbrænding og frigivelsen af korroderende stoffer, korrekt lufttilførsel, varmestråling og varmeoverførsel via kedelvægge og overhedere.

Fyringsmetoden simuleret hos Verdo var en kombination af et spredersystem til ristfyring af træflis og suspensionsfyring med forskellig etårig biomasse. For at få den korrekte brændselsfordeling på risten blev der først foretaget en indledende CFD-analyse på

træflis ved anvendelse af lagrangianske partikler, se Figur 4 Diagram af lagrangianske partikler.

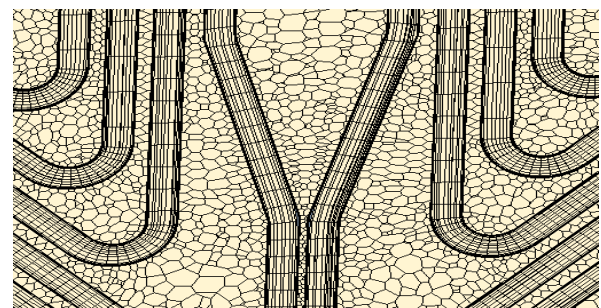


**Figur 4** Diagram over baner for træflis simuleret ved brug af lagrangianske partikler.

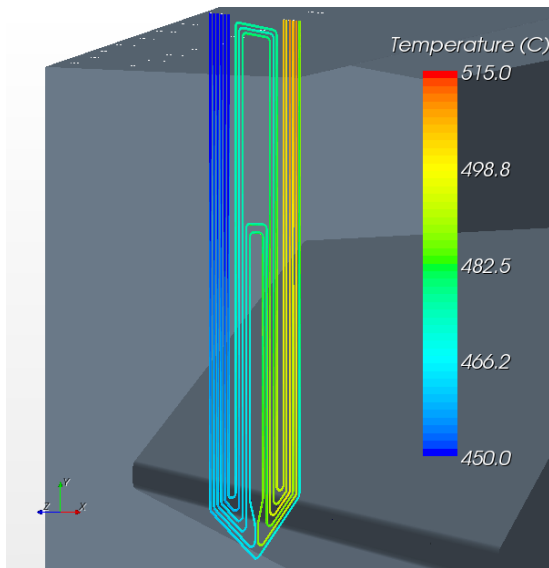
Der blev ligeledes foretaget en indledende analyse af suspensionsfyring for at finde den korrekte flammelængde ind i fyret.

For at få den korrekte overfladetemperatur på SH3-rørene, hvor korrosionen befandt sig, blev rørene og den overhedede damp i dem afklaret fuldstændigt geometrisk og fysisk. Dette blev foretaget ved hjælp af *Starccm+* universelt cylinderværktøj og en ledende skærmgrænseflade mellem damp- og røggasområdet, se Figur 5 i SH3.

og Figur 6 Damptemperatur.



**Figur 5** Net i og rundt om rør i SH3.

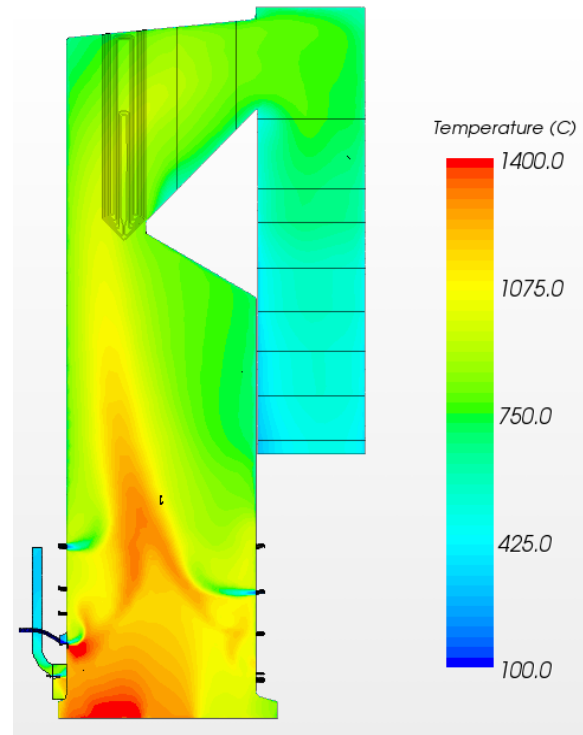


**Figur 6** Damptemperatur i en røråbning i SH3.

Resten af overhedere og economisere blev simuleret ved hjælp af porøse medier til fratrækning af varme og tilførsel af tryktab, se Figur 1 Figur af simuleret domæne med kedlen med overheder og economisere.

## Resultater

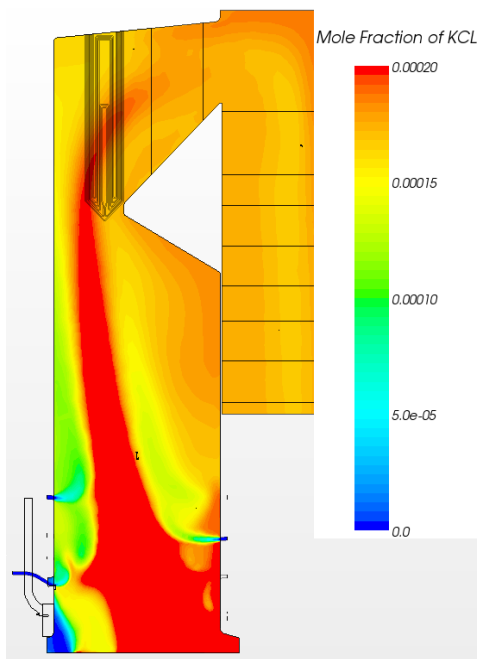
CFD-analysen af kedlen afslørede områder med stor risiko for højtemperaturkorrosion og nogle lavtemperaturområder med plads til forbedringer med henblik på bedre præstationer for kedlen. I Figur 7: bliver centerplanets temperaturprofil vist, hvor både ristfyring og suspensionsfyring er synlige som højtemperaturområder. Diagrammet angiver en ujævn temperatur i kedlen, fordi hovedstrømningen er koncentreret i et snævert bånd genereret af suspensionsfyringens flamme og de sekundære luftdyser fra bagvæggen.



**Figur 7:** Temperaturprofil i kedlen på centerplanet.

Den ujævne temperaturfordeling i kedlen optrådte også i kedlens tværetning. Dette påvirkede overhedernes ydelse, da den termiske belastning på midterste røråbninger var op til 50 % større end på røråbninger i nærheden af sidevæggene. Disse oplysninger var kun til rådighed, fordi rørene i SH3 var fuldt afklaret og gav nye og detaljerede oplysninger om ydelsen i en overheder. I henhold til faglitteraturen er der aldrig tidligere blevet foretaget sådanne analyser.

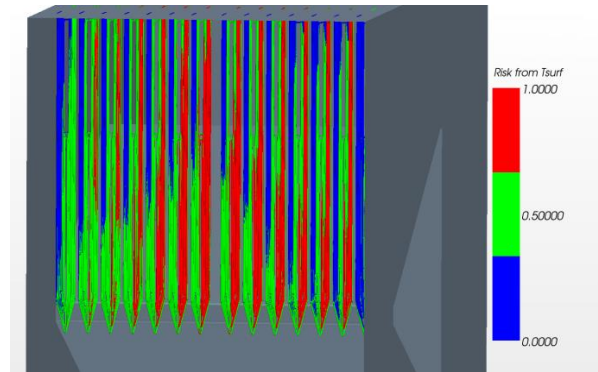
Tendenserne med et afgrænset område med høje temperaturer konstateret i temperaturdiagrammer blev også fundet i koncentrationerne af de korroderende stoffer som kaliumklorid, KCl, vist i Figur 8 Koncentration.



**Figur 8** Koncentration af det korroderende stof kaliumklorid, KCl på centerplanet.

En høj koncentration af KCl i røggassen giver en højere korrosionsrisiko.

De detaljerede temperaturer på røroverfladerne i SH3 muliggjorde anvendelse af den udviklede korrosionsmodel, da den er afhængig af overfladetemperaturer. Disse oplysninger kan ikke udledes med samme nøjagtighed via den normale tilgang med simulering af overhedere ved hjælp af blokke af porøse medier. Korrosionsrisikoprofilen for SH3 er vist i Figur 9 Diagram

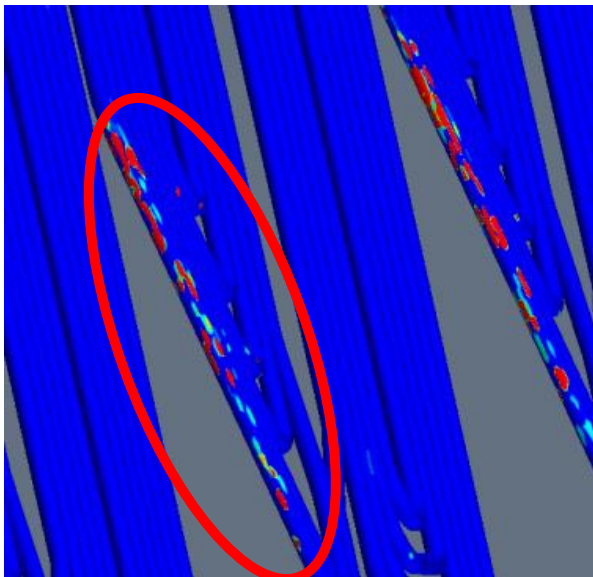


**Figur 9** Diagram over korrosionsrisikoen på SH3-overfladen, der viser en forøget risiko midt i kedlen.

#### Figur 9 Diagram

Viser en højere risikoprofil i midten af overhederen. Dette er forbundet med den højere temperatur og belastning på overhederen i midten. Korrosionsmålingerne foretaget på rørene viste højere korrosionsforekomst midt i overhederen såvel som en god sammenhæng mellem den af modellen forudsagte profil og den faktiske korrosionsprofil.

Med henblik på fastlæggelse af tilsmudsningssområder blev den udviklede grovaflejningsmodel anvendt på systemet. Et samlet antal på 100.000 lagrangianske partikler blev anvendt på de opløste askepartikler i røggassen og frembragte resultater tæt sammenfaldende med det faktiske tilsmudsningssbillede, som Verdo har oplevet, se Figur 10 Diagram og Figur 11 Billede.



**Figur 10** Diagram over tilslag af grovaskeaflejring på den nederste del af SH3 set nedefra, der viser høje aflejningsforekomster på forsiden, der vender mod strømmingen.



**Figur 11** Billede af askeopbygning på SH3-rørene set ovenfra, der viser store klumper af askeaflejring på forsiden af rørene, der vender mod strømmingen.

## Vigtige resultater og perspektiver

Denne case har vist, at det er muligt at kombinere detaljerede oplysninger fra CFD og modeller om korrosion til at forudsige højrisikoområder for korrosion.

Hvad angår Verdo Produktion A/S, blev den forhøjede forekomst af korrosion i midten af deres overheder også forudsagt af CFD-analysen. Det viste sig, at årsagen til

den høje korrosionsforekomst i midten var en ujævn belastning af overhederen. Verdo tilbød en løsningsstrategi til bedre udnyttelse af kedlen, inkl. forskellige indstillinger for deres sekundære luftdysere.

CFD er et stærkt værktøj til videre undersøgelse af mulige forbedringer i geometriske ændringer, forskellig brændselsanvendelse, optimering af fordeling af forbrændingsluft, f.eks. i sekundære luftdysers gennemtrængning og placeringer af overhedere, der alle påvirker korrosionsprofilen i kedlen. Når hovedsimuleringen er blevet opsat, kan optimeringsændringer hurtigt afprøves, så man kan spare dyre erfaringsbaserede fuldskalaforsøg i felten. Optimeringerne vil medføre bedre udnyttelse af kedlen med henblik på bedre ydelse og mindre nedetid i forbindelse med reparationer, og det vil resultere i en generel forbedring af kraftværkernes økonomi.

FORCE Technology er blandt de førende teknologiske rådgivnings- og servicevirksomheder i Danmark og på det internationale marked. Vores arbejde er fokuseret på at omforme højt specialiseret teknisk viden til praktiske og omkostningseffektive løsninger for et bredt udvalg af virksomheder og industrier. Det er løsninger, der styrker kundens konkurrencedygtighed, og de er baseret på en forståelse af kunden og industrien, som vi har tilegnet os i mere end 60 år.

Besøg [forcetechnology.com](http://forcetechnology.com) for at lære mere om vores tjenester og produkter.

Svend Skovgaard Petersen  
Project Engineer  
Thermal Energy & Fluid Mechanics

**E-mail** [svp@force.dk](mailto:svp@force.dk)

**Telefon** +45 72 15 77 46