

Oxy-fuel forbrænding af fossile brændsler

CO₂-udledningen fra kraftværkerne skal reduceres, og forbrænding af kul og biomasse i ren ilt og recirkuleret røggas kan være et vigtigt bidrag

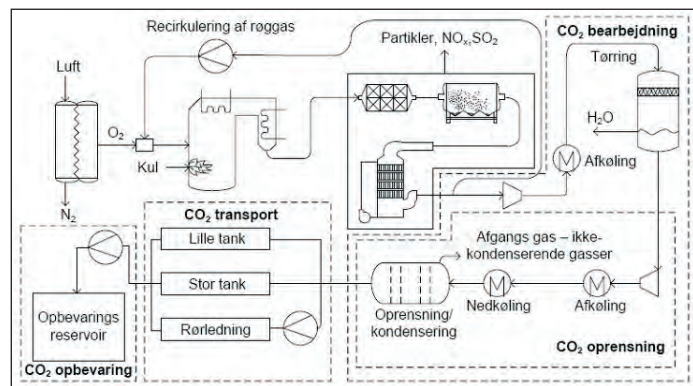
Af Jacob Brix, Maja Bøg Toftegaard, Peter Arendt Jensen, Peter Glarborg og Anker Degn Jensen, Institut for Kemiteknik, DTU

Udledningen af CO₂ til atmosfæren er mistænkt for at være skyld i temperaturstigninger på jorden. Kraftværkerne er blandt de store CO₂-udledere, da de anvender store mængder af fossile brændsler, i Danmark især kul. Selvom udnyttelsen af biomasse i kraftværkerne er stigende, og en stor forsknings- og udviklingsindsats i disse år bliver sat ind på nye teknologier såsom vindkraft og solvarme, vil afhængigheden af fossile brændsler til el- og varmeproduktion formentlig være til stede i de næste mange årtier.

For at imødegå de udfordringer dette indebærer, er DTU Kemiteknik involveret i flere projekter sammen med DONG Energy, Vattenfall, Mærskolie og Gas samt et internationalt netværk af universiteter og virksomheder gennem EU's Kul- og Stålforskningsfond. Målet er, at undersøge mulighederne for at opfange CO₂'en fra værkernes røggas med henblik på at deponere den i undergrunden [1]. Udviklingen af oxy-fuel teknologien kan bidrage til at nå dette mål.

Oxy-fuel kraftværket

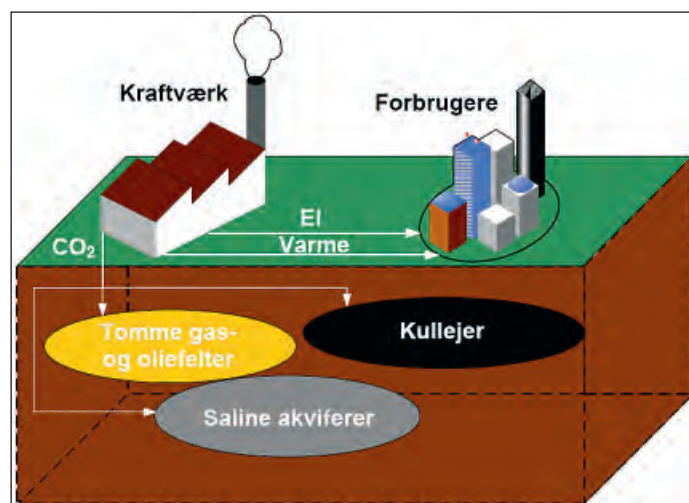
På figur 1 ses en principskitse af et oxy-fuel kraftværk. Den væsentligste forskel fra et konventionelt luftblæst kraftværk er, at ilt skilles fra luft i et kryogent iltanlæg før forbrændingen. På den måde undgås den fortynding af CO₂, tilstedeværelsen af nitrogen medfører.



Figur 1. Principskitse af oxy-fuel anlæg med våd recirkulering af røggas. Anlægget ville også kunne recirkulere tør røggas, hvis røggassen i stedet tages efter tørringen.

For at undgå for høje temperaturer i kedlen, og for at have et medie, der kan transportere forbrændingsvarmen, recirkuleres en del af røggassen. Det bevirker, at den opkoncentrerede røggas, der fjernes fra processen, hovedsageligt består af H₂O og CO₂. Efter kondensering af vanddampen, hvor mange af de uorganiske sporelementer såsom svovl- og klorforbindelser også fjernes, kan CO₂'en oprenses for til sidst at blive komprimeret og sendt til opbevaring i velegnede reservoirer, f.eks. tomme

gas- og oliefelter, saline akviferer (porøse geologiske formationer med mættet saltvand i poresystemet) eller kullejer, der ikke egner sig til minedrift [2]. En principskitse af forsynings- og deponeringsnetværket, der er tilknyttet et oxy-fuel kraftværk, er vist på figur 2. Ved denne form for opbevaring kan CO₂'en ligge i tusinder af år uden at skade jordens klima [2]. Bruges oxy-fuel teknologien på kraftværker, der forbrænder biomasse, er nettoeffekten, at CO₂ trækkes ud af atmosfæren, da planterne ved fotosyntesen forbruger CO₂ under deres vækst.



Figur 2. Principskitse for forsynings- og deponeringsnetværket tilknyttet et oxy-fuel kraftværk.

Hvis jordens anslåede kapacitet til CO₂-deponering udregnes på baggrund af udledningen fra energiproduktion i 2001, rækker de kendte lagre ca. 100-320 år [2]. Det betyder, at miljørigtige teknologier, der i dag ikke er i stand til at forsyne jordens befolkning med el og varme, kan nå at modnes.

Der er flere tekniske udfordringer, der skal løses, før et oxy-fuel kraftværk kan bygges i industriel skala. Selvom oxy-fuel kraftværkets bærende principper, med forbrænding i høje ilt-koncentrationer og recirkulering af røggas, er kendt fra glas- og stålindustrien [3], er skalaen, der kræves for energiproduktion, meget større. Den beregnede mængde af ilt, der kræves for at drive et 2000 MW kulfyret oxy-fuel kraftværk, der leverer CO₂'en til en rørledning ved højt tryk, er således 40.000 tons/dag, hvilket skal ses i ft. nutidens kryogene iltanlæg, der har kapaciteter op til ca. 3.500 tons/dag [3]. Selv for danske anlægsstørrelser på 400-650 MW vil kapaciteten af de nuværende iltanlæg betyde, at flere skal bruges parallelt. Den meget store mængde ilt giver ikke kun praktiske udfordringer, den fordyrer også driften af kraftværket mærkbart. Sammen med energien

der bruges ved kompressionen af CO₂'en anslås det store behov for ren ilt at fordyre driften med ca. 9% point ift. et konventionelt luftblæst anlæg [4].

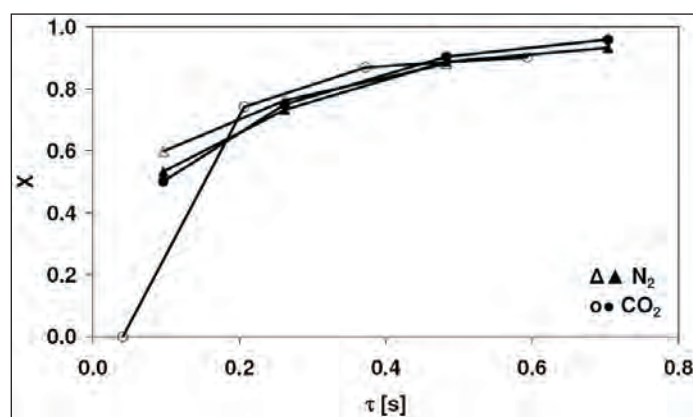
Spildevandshåndtering er en anden teknisk udfordring, da den kondenserende vanddamp vil være meget sur pga. svovlsyre og saltsyre, der dannes fra røggassens uorganiske komponenter. De præcise krav til CO₂-rensning før tryksætning og opbevaring er heller ikke kendt, da emissionsmålinger fra storskala forsøgsanlæg og sikkerhedsstandarder endnu ikke er tilgængelige. De manglende forbrændings- og emissionsdata gør det også vanskeligt at forudsige korrosionen i anlægget. Askesammensætningen er ligeledes vigtig, da flyveaske anvendes i cement- og betonproduktion. Risikoen for forringede askeegenskaber skal derfor undersøges nærmere.

Når N₂ skiftes ud med CO₂ som den dominerende gaskomponent ændres gasfasens termiske egenskaber. Derfor er der arbejdet meget med hvilken iltkoncentration, der er nødvendig, for at opnå en tilfredsstillende varmeprofil i kedlen. Dette er især vigtigt, hvis teknologien skal bruges til at rekonstruere eksisterende anlæg. Forskningslitteraturens resultater viser generelt sammenlignelige varmeprofiler i luftblæst forbrænding og i oxy-fuel forbrænding med en iltkoncentration på omkring 30 vol.% i sidstnævnte [4]. Det er dog stadig vigtigt at kortlægge udbrændingskinetikken af koksen i oxy-fuel kedler.

Som afslutning på de tekniske udfordringer, der er forbundet med oxy-fuel forbrænding, skal det understreges, at processens bærende ide, skabelsen af et N₂-frit miljø, kun lader sig gøre, hvis hele anlægget er tæt.

Igangværende arbejde

DTU Kemiteknik undersøger i øjeblikket flere aspekter ved oxy-fuel forbrænding af både biomasse og kul, herunder aske- og belægningskemi, NO_x-emission og udbrændingskinetik. Forsøg med henblik på bestemmelse af udbrændingskinetik udføres med kul i instituttets fastbrændselsreaktor ved forskellige temperaturer og iltkoncentrationer med både N₂ og CO₂ som bæregasser. Forsøg med henblik på bestemmelse af aske- og belægningskemi samt udbrænding som funktion af iltkoncentration, iltoverskud og røggassammensætning bliver udført i instituttets swirlbrænder med både kul og biomasse som brændsel. Begge disse reaktorer er konstrueret til at simulere



Figur 3. Koksomsætningsprofiler opnået ved 1100°C og en iltkoncentration på ca. 6 vol.%. To separate forsøgsserier er vist for forbrænding i N₂ og CO₂.

suspensionsfyringen i et kraftværk. Målinger af NO_x-emissioner foregår i begge de ovennævnte reaktorer samt i en laboratorie-skala fixed bed-reaktor.

Forsøgene i fastbrændselsreaktoren viser en betydelig reduktion af NO_x-emissionen under oxy-fuel forbrænding, hvilket er i overensstemmelse med litteraturen [5,6]. Grunden til den lavere NO_x-emission er endnu ikke kortlagt, men både heterogene og

homogene reaktioner tænkes at spille ind. Swirlbrænder-forsøgene er i skrivende stund under udarbejdelse og færdigbehandlede data er derfor endnu ikke tilgængelige.

Forsøg udført i fastbrændselsreaktoren viser ingen synlig forskel i koksens udbrændingshastighed, når N₂ udskiftes med CO₂ ved samme temperatur og iltkoncentration. Et eksempel på udbrændingsprofiler for koks er vist i figur 3. Omsætningsgraden, X, er den fraktion af koksens brændbare komponenter, der ved en given opholdstid i reaktoren, τ, er forbrugt.

Der findes divergerende målinger i litteraturen om, hvorvidt CO₂-forgasning, vist i reaktion 1, bidrager positivt til koksomsætningen. Nogle forfattere finder et bidrag [7], mens andre konstaterer, at reaktion 1 forløber for langsomt sammenlignet med reaktionen med O₂ [8]:



I nærværende forsøgskampagne er der ved høje temperaturer og lave iltkoncentrationer, betingelser der ville forventes at synliggøre forgasningsreaktionen, ikke fundet beviser for dens bidrag til koksomsætningen. Derimod er det blevet klart, at ændringer foranlediget af forskellen i fysiske egenskaber mellem N₂ og CO₂, her især iltens evne til at diffundere i gassen, har en betydning for omsætningshastigheden af koksen ved disse betingelser. I CO₂, hvor ilt diffunderer langsommere end i N₂ (ca. 22%), ses en lavere omsætningshastighed af koksen. Det skyldes, at reaktionshastigheden ved disse betingelser er begrænset af ilttilførslen til partiklerne, hvilket er betingelser, der også optræder i en kraftværkskedel.

Fremtidigt arbejde

DTU Kemiteknik fortsætter sammen med sine partnere arbejdet med at udvikle oxy-fuel teknologien i de kommende år. Swirlbrænder-forsøgene er sat i gang, og resultaterne vil være med til at klargøre omfanget af de problemer, som indførelse af oxy-fuel teknologien på eksisterende kraftværker kan medføre. Der vil også blive udført flere forsøg, som vil bidrage til en klarlægning af, hvad der styrer NO_x-emissionen fra oxy-fuel forbrænding. Udviklingen af modeller, der kan simulere både NO_x-emission og koksudbrænding er vigtige for design og konstruktion af oxy-fuel kedler. Dette modelarbejde pågår sideløbende med forsøgsarbejdet.

E-mail-adresse

Anker Degn Jensen: aj@kt.dtu.dk

Referencer

- Kristensen, H., Ejlersen, L., Fosbøl, P., Kiørboe, L., von Solms, N., Fjernelse af Kuldioxid fra Røggasser - Historien om Opbygningen af et Forsøgsanlæg på DTU, Dansk Kemi, nr. 2, 2009, 10-13
- Figuerola, J. D., Fout, T., Plasynski, S., McIlvried, H., Advances in CO₂ Capture Technology-The U.S. Department of Energy's Carbon Sequestration Program, Int. J. Greenhouse Gas Control, vol. 2, 2008, 9-20
- Blomen, E., Hendriks, C., Neele, F., Capture Technologies: Improvements and Promising Developments, Energy Procedia, vol. 1, 2009, 1505-1512
- Buhre, B. J. P., Elliot, L. K., Sheng, C. D., Gupta, R. P., Wall, T. F., Oxy-Fuel Combustion Technology for Coal-Fired Power Generation, Prog. Energy Combust. Sci., vol. 31, 2005, 283-307
- Liu, H., Okazaki, K., Simultaneous Easy CO₂ Recovery and Drastic Reduction of SO_x and NO_x in O₂/CO₂ Coal Combustion with Heat Recirculation, Fuel, vol. 82, 2003, 1427-1436
- Liu, H., Zailani, R., Gibbs, B. M., Comparisons of Pulverized Coal Combustion in Air and in Mixtures of O₂/CO₂, Fuel, vol. 84, 2005, 833-840
- Rathnam, R. K., Elliot, L. K., Wall, T. F., Liu, Y., Moghtaderi, B., Differences in Reactivity of Pulverized Coal in Air (O₂/N₂) and Oxy-Fuel (O₂/CO₂) Conditions, Fuel Process. Technol., vol. 90, 2009, 797-802
- Várhegyi, G., Szábo, P., Jakab, E., Till, F., Richard, J.-R., Mathematical Modeling of Char Reactivity in Ar-O₂ and CO₂-O₂ Mixtures, Energy Fuels, vol. 10, 1996, 1208-1214