

Bestemmelse af koksindholdet i biomasse

Ved at benytte multivariat dataanalyse kan koksindholdet i biomasse forbrændt ved høje opvarmningsrater kvantificeres. Det er essentielt for arbejdet med at opnå en bedre forståelse for udbrændingen af biomasse i kraftvarmeværker.

Af Anna Leth-Espensen, Peter Glarborg og Peter Arendt Jensen, DTU Kemiteknik

Klimaforandringer har øget interessen for produktion af strøm og varme med mere miljøvenlige metoder. De genanvendelige energikilder udgjorde ca. 3,6 procent af den samlede energimængde brugt i verden i 2017, og tendensen er stigende [1]. Mange steder omlægges energi- og varmeproduktion til mere klimavenlige metoder, for eksempel hos Ørsted, hvor kul ikke længere vil blive brugt i kraftværker fra 2023. For at sikre en stabil varme- og energiforsyning må andre mere klimavenlige løsninger anvendes, og til denne gruppe regnes forbrænding af biomasse. Biomasseforbrænding kan foregå ved forskellige processer. I Danmark produceres en stor del af strøm- og varmeforsyningen i pulverfyrede kedler.

Forbrænding af biomassepartiklerne sker ved en afgangning efterfulgt af oxidation af den dannede koksrest. Ved biomasseforbrænding sker en stor del af energifrigivelsen ved forbrænding af de flygtige afgassede produkter. Det er i modsætning til kulafbrænding, hvor koksforbrændingen giver det langt største bidrag.

Fraktionen af biomasse, der omdannes til koks, er blevet undersøgt ved en række eksperimenter, og det har vist sig, at den kan variere en del afhængigt af driftsforholdene. Ved modellering af fyrrumsprocesserne og for at opnå en forbedret forståelse af udbrændingen er det væsentligt at have kendskab til den dannede koksmængde. Koksindholdet varierer som funktion af blandt andet opvarmningshastighed, omgivelsernes temperatur og indholdet af kalium [2].

På basis af resultater fra tidligere udførte forsøg er det ved hjælp af multivariat dataanalyse muligt at præsentere en formel [2], der kan bestemme koksindholdet i biomasse under betingelser, der svarer til suspensionsfyring. Den dækker både træ og andre bioenergiagrøder. Formlen er testet med uafhængigt data fra litteraturen og bestemmer koksindholdet med en RMSEP (Root mean squared error of prediction) på 0,9 vægt% (tør, askefri basis) for træ og 1,1-2,7 vægt% (tør, askefri basis) for andre bioenergiagrøder.

Betingelser i suspensionsfyrede kedler

Suspensionsfyring foregår i kedler, hvor biomassestøv blæses ind i swirl-stabiliserede flammer og brænder ved høje temperaturer. Biomassestøvet består af partikler med en omtrentlig

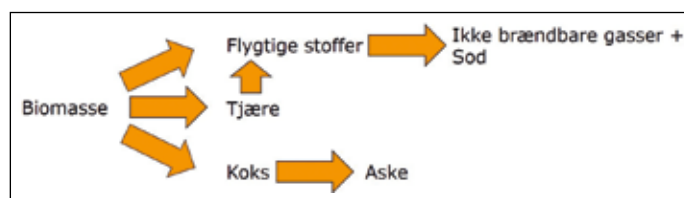
størrelse på 100 μm - 2 mm. Temperaturen i fyrrummet ligger typisk i intervallet 1000-1900 K. Denne kombination gør, at opvarmningsraten for partiklerne i nogle tilfælde kan overstige 10⁵ K/s [3].

Forskellen på kul og biomasse

Suspensionsfyring foregår ofte i anlæg, der oprindeligt er designet til fyring med kul. Kul- og biomasseforbrænding adskiller sig på en række punkter. På grund af fibre i biomasse er det mere energikrævende at finde disse, og kulpartikler i suspensionsfyrede anlæg vil derfor typisk være mindre. Desuden er indholdet af flygtige gasser højere og brændværdien mindre for biomasse [4]. De uorganiske forbindelser i biomasse vil også ofte være mere problematiske for driften på grund af risiko for belægning og korrosion.

Forbrænding af en biomassepartikel

Når biomassepartikler brænder under suspensionsfyring, foregår flere processer samtidigt. Groft sagt kan biomassefyring beskrives af de følgende processer: opvarmning, frigivelse af vand, frigivelse af flygtige gasser og tjære, omdannelse af tjære til gas, forbrænding af flygtige gasser og forbrænding af koks. En simplificeret oversigt over denne proces kan ses i figur 1. Processen, hvor der frigives gasser og tjære under iltfattige betingelser, kaldes pyrolyse. De gasser, der frigives gennem pyrolyse, forbrænder langt hurtigere end koksen. For at modellere biomassepartikelforbrænding korrekt er det derfor vigtigt at bestemme, hvilken fraktion koksen udgør.



Figur 1. Skematisk oversigt over forbrænding af biomassepartikler.

Multivariat dataanalyse

Multivariat dataanalyse, også kendt som kemometri, kan bruges til at beskrive kemiske og biologiske datasæt, så sammenhænge kan belyses kvantitativt. Kemometriske metoder er beskrevet grundigt andetsteds [5].

I dette studie er benyttet PCA (principal component analysis) og PLS (partial least squares regression). Formålet er at bestemme sammenhængen mellem fysisk-kemiske karakteristika ved biomassen og koksudbyttet. For at bestemme koksindholdet er der samlet data fra litteraturen, der beskriver koks mængden fra biomassepyrolyseforsøg, hvor betingelserne ligner dem, der ses i suspensionsfyrede anlæg. Forsøgene, der ligger til grund for denne model, dækker intervallerne givet i tabel 1. Det er også i disse parameterspand, modellen er gyldig.

Parameter	Min.	Max.
Partikelstørrelse [mm]	0,13	0,93
Max. temperatur [K]	873	1.673
Opvarmningshast. [10^3 K/s]	0,10	12
Kaliumindhold [vægt% tør]	0,02	0,37

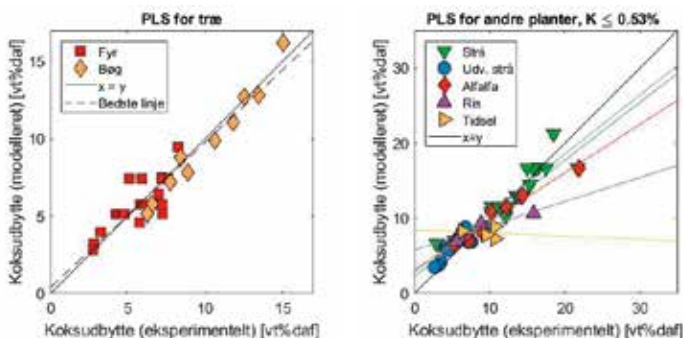
Tabel 1. Data, der ligger til grund for modellen stammer fra Trubetskaya et al. [6,7].

Resultater

Analysen, beskrevet nærmere i [2], viser, at biomasse med et højere kaliumindhold har et højere koksudbytte, og at biomasse, der udsættes for højere maksimale temperaturer og/eller opvarmningshastigheder, får et lavere koksudbytte. Desuden viser analysen, at partikelstørrelsen for biomassestøvparklerne ikke influerer direkte på koksudbyttet. Partikelstørrelsen har dog en indirekte indflydelse, da den påvirker opvarmningshastigheden. For træ pyrolyseret under betingelser relevante for suspensionsfyring (blandt andet beskrevet i tabel 1) er koksudbyttet bestemt ved hjælp af nedenstående ligning. Her er C koksudbyttet i vægt% tør askefri basis, K er kaliumindholdet i biomassen i vægt% tør basis, T er den maksimale temperatur i K og H er opvarmningshastigheden i K/s.

$$C = 10^{3,4370 + 0,6852 \cdot K - 0,6598 \cdot \log(T) - 0,2130 \cdot \log(H)}$$

Både den målte og det fra modellen bestemte koksudbytte for data fra Trubetskaya et al. [6,7] kan ses i figur 2.



Figur 2. Modelleret og eksperimentelt bestemt koksudbytte for forsøg foretaget ved betingelser relevante for suspensionsfyring. Modellen er udviklet på baggrund af de målte data. Sammenligning med uafhængige datasæt findes i [2]. Figur modificeret fra [2].

Figur 3. Modelleret og eksperimentelt bestemt koksudbytte for få-årige planter. Alfalfa, hvedestrå og kardontidsel har kaliumindhold højere end 0,53 vægt% tør basis, så er i disse tilfælde sat til 0,53. Udv. = udvasket. Alle eksperimentelle data stammer fra Trubetskaya et al. [6,7], undtagen dem for kardontidsel, der kommer fra Jiménez et al. [8]. Figur modificeret fra [2].

For biomassetyper med højere kaliumindhold er ovenstående ligning for koksudbyttet også brugt, hvor der er korrigeret for det højere kaliumindhold. Højere kaliumindhold er typisk for få-årige planter, som for eksempel strå eller elefantgræs, der ofte bruges som bioenergiagrøder. Den katalytiske effekt af kalium, der medfører et højere koksudbytte under biomassepyrolyse, aftager ved kaliumindhold omkring 0,53 vægt% tør basis. Ønskes det at udregne koksudbyttet for pyrolyse af biomasse med kaliumindhold højere end 0,53 vægt% tør basis er K sat til 0,53 i ligningen. Både det målte og det med modellen estimerede koksudbytte for en række bioenergiagrøder kan ses i figur 3.

Perspektivering

Modelleringen af koksudbyttet i suspensionsfyrede anlæg præsenteret her er en del af arbejdet på DTU Kemiteknik med at beskrive forbrænding af biomasse. Igangværende arbejde inkluderer både modellering og eksperimentelle forsøgsserier. For eksempel arbejdes der i øjeblikket på en pyrolysemodel, der kan tage højde for biomassepartiklers morfologi, og CFD (computational fluid dynamics)-simuleringer af partikelforbrænding.

Samarbejde og tak

Ørsted A/S, Burmeister and Wain Scandinavian Contractors A/S og Rambøll A/S takkes for støtte og godt samarbejde. Desuden tak til Nordic 5 Tech (N5T) alliancen og Ørsted A/S for finansiell støtte.

E-mail:

Anna Leth-Espensen, annlete@kt.dtu.dk

Peter Arendt Jensen, paj@kt.dtu.dk

Kilder

1. BP Statistical Review of World Energy, 67th Edition, June 2018.
2. A. Leth-Espensen, P. Glarborg, P.A. Jensen, Energy Fuels, 2018, 32, 9572-9580.
3. J.M. Johansen, PhD Thesis, DTU Kemiteknik, 2015.
4. Phyllis2, database for biomass and waste, <https://www.ecn.nl/phyllis2>, Energy research Centre of the Netherlands.
5. L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettaneh-Wold, S. Wold, Multi- and Megavariate Data Analysis Principles and applications, Umetrics AB, 2001.
6. A. Trubetskaya, P.A. Jensen, A. D. Jensen, M. Steibel, H. Spliethoff, P. Glarborg, Fuel Process. Technol., 2015, 140, 205-214.
7. A. Trubetskaya, P.A. Jensen, A.D. Jensen, A. D. G. Llamas, K. Umeki, P. Glarborg, Fuel Process. Technol., 2016, 143, 118-129.
8. S. Jiménez, P. Remacha, J.C. Ballesteros, A. Giménez, J. Ballester, Combust. Flame, 2008, 152, 588-603.

LABORATORIE

Analyser og
teknisk service



Se mere på: www.neutron-nordic.com