



**Småskala biomasse
kraft- og varmeproduksjon
Anbefalinger for Norge**



Småskala biomasse kraft- og varmeproduksjon Anbefalinger for Norge

Copyright:
SINTEF Energi AS
Desember 2011

ISBN 978-82-594-3543-9

Redaksjon ved SINTEF Energi AS:
Øyvind Skreiberg
Mette Bugge
Mette Kjelstad
Astrid B. Lundquist

Forside: Shutterstock/Astrid B. Lundquist
Illustrasjoner: Kjetil Strand

Trykk: Fagtrykk

Bakgrunn

Denne håndboken er utarbeidet av SINTEF Energi basert på resultater fra KRAV-prosjektet. KRAV er et KMB-prosjekt (Kompetanseprosjekt med Brukermedvirkning) under RENERGI-programmet med finansiering fra Norges forskningsråd og fem norske industripartnere: Solør Bioenergi Holding AS, Eidsiva Bioenergi AS, Statkraft Varme AS, Vardar AS og Agder Energi AS

Målet har vært å bidra til økt implementering av småskala (< 10 MW innfyrt effekt) kraft- og varmeløsninger (CHP) i Norge, gjennom forskning på og utredning av ulike momenter som har vesentlig betydning for kostnadseffektiviteten til slike anlegg.

Momenter av stor betydning for kostnadseffektiviteten er CHP-teknologier, biomasseressurser, brenselsegenskaper og -utfordringer, driftsutfordringer, utslipp og rammevilkår for småskala biomasse CHP i Norge.

Bioenergi i Norge

Det er tre hovedområder for anvendelse av bioenergi i stasjonær energiforsyning:

- romoppvarming og tappevann i boliger og næringsbygg
- damp og prosessvarme til industrielle formål
- kraftproduksjon

Produksjonen av bioenergi i Norge økte fra 12 TWh i 1998 til 15 TWh i 2009 og utgjør nå ca sju prosent av vårt energiforbruk. Av forbruket i 2009, var i følge Energi21 omlag:

- 6 TWh vedfyring
- 2 TWh avfall i fjernvarmeanlegg (bioenergiandelen i avfall er ca 50 prosent)
- 0,8 TWh flis i fjernvarmeanlegg
- 5 TWh sagflis, bark og avlut i skogsindustriens egen varmeproduksjon
- 1 TWh pellets, flis og ved i mindre anlegg

Mindre enn en halv TWh elektrisitet produseres årlig fra biomasse og avfall i Norge.

Ferske tall fra SSB viser en betydelig økning i bioenergibruken fra 2009 til 2010.

Bruken av bioenergi i Norge er likevel svært beskjeden sammenlignet med våre nordiske naboland. Både i Sverige og Finland er bioenergibruken mer enn sju ganger høyere enn i Norge.

Målsetninger

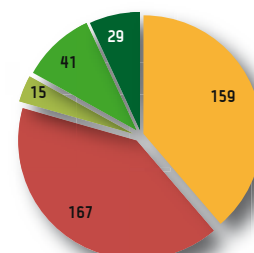
I EU-27 er to tredjedeler av den fornybare energiproduksjonen basert på biomasse og utgjør rundt fem prosent av det totale energiforbruket. Dette skal dobles innen 2020.

Regjeringens Bioenergi-strategi fra 2008 har et mål om å doble bruken av bioenergi innen 2020.

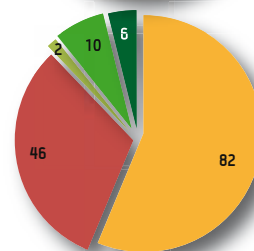
Nær halvparten av dagens bruk er punktoppvarming i vedovner og lukkede peiser, og halvparten av økningen forventes innen dette området. Resten av økningen forventes hovedsakelig innen fjernvarmesektoren.

Elektrisitet fra biomasse i Norge

GWh el produsert (2009)



MW el installert (2009)



- Restprodukter fra treforedling
- Avfall
- Rivningstrevirke
- Deponigass
- Biogass

Småskala CHP

Småskala CHP har potensiale til å dekke varmebehovet i enkeltstående bygninger og opp til mindre fjernvarmenettverk. Produksjon av elektrisitet sammen med varme gjør driften mer fleksibel og øker brukstiden.

Flere CHP-løsninger eksisterer og er i ulike utviklingsfaser. I dag produseres elektrisitet fra biomasse hovedsakelig i dampturbiner, som er en velkjent og kommersiell teknologi. For småskala CHP anlegg blir dampturbinene mindre effektive, og de spesifikke investeringskostnadene (kr/kWh) øker.

Andre mulige løsninger basert på damp eller andre medier eksisterer:

- dampmotor
- organisk Rankine syklus (ORC)
- Stirlingmotor
- forbrenningsmotor
- gassturbin
- mikro-gassturbin
- eksternt fyrt gassturbin
- brenselceller

Alle disse CHP-teknologiene krever at biomassen konverteres til enten varme eller et foredlet brensel som gass, væske eller faste stoff før selve elproduksjonen.

Forbrenning er den dominerende konverteringsprosessen, men gassifisering (gir brennbar gass) og pyrolyse (gir brennbar olje eller biokarbon) er aktuelle opsjoner, spesielt hvis økt utbytte av elektrisitet på bekostning av varme er ønsket. Tilstrekkelige rammevilkår som støtter opp om dette, er da viktig.

Teknologistatus

De ulike CHP-teknologiene eksisterer langt på vei allerede i dag, men har i utgangspunktet blitt utviklet for andre varmekilder (geotermisk- og spillvarme) og andre brensler (fossile). Utfordringen blir å koble biomassen med sine spesielle

brenselsegenskaper til CHP-teknologien via en optimalisert konverteringsteknologi på en mest mulig kostnadseffektiv måte.

Dette betyr i praksis å minimere potensielle brenselrelaterte utfordringer knyttet til drift og vedlikehold.

Viktig for kostnadseffektiviteten er også det å kunne utnytte rimelige biomasse-ressurser, men uten å øke drifts- og vedlikeholdskostnadene tilsvarende.

Rimelige biomasse-ressurser inkluderer biprodukter fra skogbruk og landbruk. Disse kan være utfordrende å håndtere fysisk og inneholder også elementer som potensielt bidrar til agglomerering (asken smelter og danner klumper), økt beleggdannelse på varmevekslere og korrosjon på overheter, samt økte utslipp.

Utvikling av strategier og metoder for minimering av disse negative effektene har vært et hovedmål i KRAV-prosjektet.

Norske forhold

Relativt lav pris på elektrisitet i forhold til fjernvarme, moderate avgifter på konkurrerende fossile brensler og ikke spesielt gunstige rammevilkår for produksjon av elektrisitet fra biomasse i Norge, gjør det utfordrende å drifte CHP-anlegg kostnadseffektivt.

Det er derfor essensielt for en økt implementering av småskala CHP basert på biomasse i Norge at også rammevilkårene bedres.

Et felles norsk/svensk grønt sertifikatmarked, fra januar 2012, vil bedre rammevilkårene, men er det tilstrekkelig?

Prosjektresultater

Prosjektresultatene kan inndeles i:

- Metoder for reduksjon av brenselsrelaterte driftsutfordringer
- Reduserte NO_x-utslipp ved bruk av primærtiltak
- Innovative CHP-løsninger og CHP-løsninger for norske forhold og rammebetingelser

De viktigste resultatene

Brenselsrelaterte utfordringer og omfanget av disse influerer sterkt på kostnadseffektiviteten til et CHP-anlegg.

I KRAV-prosjektet er bruk av brenselsblandinger og additiver til lavkvalitets biobrensler studert i detalj. Det er gitt anbefalinger med hensyn til nødvendige blandingsforhold for å minimere drifts- og vedlikeholdsproblemer.

For eksempel er halm et problematisk biprodukt fra landbruket, og innblanding av for eksempel kloakkslam i halm vil være gunstig.

Bruk av stegvis lufttilførsel er en metode for å redusere NO_x-utslipp i selve forbrenningsprosessen. I KRAV-prosjektet er det gjennom omfattende eksperimentelt arbeid oppnådd i overkant av 90 prosent NO_x-reduksjon ved optimalisert stegvis lufttilførsel.

Tradisjonelle CHP-løsninger er vurdert, og nye og innovative CHP-løsninger og -systemer er foreslått og analysert. For eksempel kan samproduksjon av produkter som metanol eller biokarbon bidra til å øke kostnadseffektiviteten. Men dette vil avhenge sterkt av rammebetingelser, hvor norske forhold krever særnorske rammebetingelser.



Produksjonen av biomasse skal økes, den viktigste ressursen er skogen.

Nytteverdi av prosjektet

KRAV-prosjektets nytteverdi gjenspeiles på mange fronter, både gjennom

- kompetanseheving innen forskning, utdanning og industri
- metodeutvikling
- utvikling av utslippsreducerende tiltak
- fokusering på norske forhold og rammebetingelser ved analyse og valg av aktuelle CHP-konsepter for Norge

Prosjektet har inkludert både Masterstudenter, en PhD-student og en PostDoc.

Publikasjoner fra prosjektet

Rapporten TR A7170 Small-scale biomass CHP recommendations for Norway er en mer omfattende versjon av denne håndboken. Prosjektresultatene beskrives i detalj i publikasjonene fra prosjektet, og disse gjenspeiler det faglige fokuset og forskningsomfanget. Et stort antall publikasjoner i internasjonale tidsskrifter, på konferanser og som rapporter er skrevet. En publikasjonsoversikt er gitt på side 8 og 9.

Anbefalinger

I dag og i den nærmeste fremtid er forbrenning og dampturbin den mest aktuelle teknologikombinasjonen. På sikt kan gassifisering i kombinasjon med kjel og dampturbin eller gassmotor blir konkurransedyktig.

Ved vesentlig bedre rammebetingelser, utover grønne sertifikater, kan dampmotorer, organisk Rankine syklus og Stirlingmotor bli aktuelle.

Hva kan gjøres for å akselerere introduksjonen av småskala CHP løsninger i det norske markedet?:

- Bedrede rammebetingelser
- Fokus på optimalisering av muligheter i planleggingsprosessen
 - Optimer CHP anlegget med hensyn til damp- og varmebehov internt og hos kunder
 - o Velg riktig anleggsstørrelse og -teknologi
 - o Dekk varme- og elektrisitetsbehov
 - o Optimer transportdistanser for varme og damp
 - Bruk eget brensel (med ingen eller lav alternativ verdi) og/eller lokalt brensel

- Velg et brenselfleksibelt anlegg hvis mulig
- Produser brensel i ett anlegg (f.eks. briketter), som kan brukes i et annet anlegg
- Bruk eget, og erfarent, prosesspersonell i driften av anlegget
- Sterkere støtteordninger for mikro CHP introduksjon / teknologidemonstrasjon
- Teknologeutvikling for norske forhold og brenslere, og støtte for dette

Hvor går veien videre?

Forskning er ofte en langsiktig satsning, for utvikling og forbedring av teknologier.

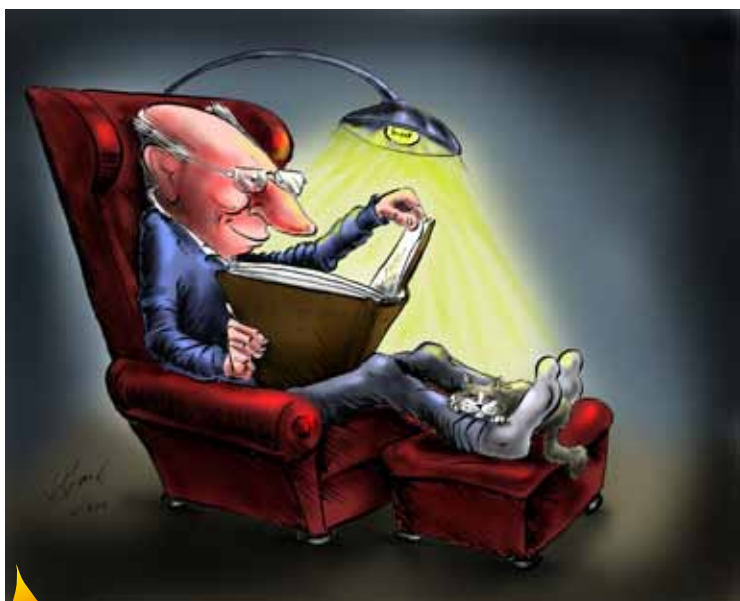
De ulike CHP teknologiene er i ulike utviklingsfaser, noe som gjenspeiler seg i teknologikostnaden. De best utviklede CHP teknologiene har begrenset utviklingspotensial og begrenset potensial for økt kostnadseffektivitet. Men, koblet til en konverteringsprosess og et spesifikt brensel kan kostnadseffektiviteten til systemet som helhet økes betydelig.

Bruk av lavkvalitets biomasse er én mulighet. Brenselkostnaden spiller en kostnadmessig nøkkelrolle, og mye forskningsinnsats er i dag rettet mot utnyttelse av lavkvalitets biomasse i CHP anlegg på en kostnadseffektiv måte.

På sikt vil teknologikostnaden til de mest lovende av dagens umodne teknologier synke, kunnskapsbasen vil bygges opp og erfaring vil akkumuleres. Enhetskostnaden vil også synke etterhvert som antallet produserte enheter og antallet produsenter øker.

Investeringskostnaden per enhet elektrisitet produsert øker typisk med avtagende anleggsstørrelse, noe som ikke taler til fordel for småskala CHP løsninger. Dog, for et optimalisert anlegg som utnytter alle muligheter og synergieffekter, vil også småskala biomasse CHP kunne ha en fremtid i Norge.

Bioel – Fornybar elektrisitet



Suksesshistorier

Norske biomasse CHP suksesshistorier er så langt få, siden biomasse CHP og spesielt småskala biomasse CHP, ennå er i en tidlig fase i Norge.

Biomasse CHP er ikke nytt i Norge, men de anleggene vi har i dag omfatter i hovedsak avfallsforbrenningsanlegg (negativ brenselpris), eldre anlegg i treforedlingsindustrien (restprodukter) og anlegg basert på billig/gratis gass fra forråtnelsesprosesser (biogass, deponigass).

Også rivningstrevirke er et aktuelt brensel (fra negativ brenselpris til billig), og benyttes i ett anlegg i Norge i dag. GROT (grener og topper) fra skogen utgjør en stor og uutnyttet biomasse ressurs i Norge, og er også aktuelt for CHP anlegg. To biomasse CHP suksesshistorier er omtalt på de neste sidene:

Solør Bioenergi sitt anlegg på Kirkenær.

Eidsiva Bioenergi sitt anlegg på Gjøvik.

Begge disse er industripartnere i KRAV-prosjektet.

Biovarme anvendes til tappevann og romoppvarming.



Pioneranlegg på Kirkenær

Solør Bioenergi Gruppen har i løpet av de siste årene utvidet sine aktiviteter på mange fronter. Veksten har dels vært basert på utbygging av nye anlegg og dels på oppkjøp av etablerte anlegg med påfølgende ombygging/restrukturering for produksjon av trebasert bioenergi – både returvirke og jomfruelig.

Springbrettet til de siste års vekst har vært etableringen av mottaksanlegget og energigjenvinningen av farlig treavfall på Kirkenær i Solør.

Gründer av virksomheten, Erik Lynne, driver også Solør Treimpregnering AS, et selskap med 50 års historie innen produksjon av impregnerte gjerde – og elektrisitetsstolper o.a.

Da impregnert trevirke ble klassifisert som farlig avfall i 2003 startet Lynne sin "harddisk" å snurre. Farlig avfall innebærer at man må betale for å bli kvitt de utrangerte materialene – og med et godt egnet industriområde vegg i vegg med impregnerings-virksomheten, øynet han muligheten for å slutte ringen ved å ta i mot og forbrenne de stolpene som familiebedriften hadde produsert gjennom flere 10-år. Som tenkt, så gjort. Etter at nødvendige tillatelser var innvilget og

markedsarbeidet hadde gitt de nødvendige svar, startet byggingen av mottaksterminal og energisentral.

Arbeidet med prosjektering og bygging tok tid, men resultatet ble blant annet etableringen av et 10 MW CHP anlegg basert utelukkende på forurenset, utrangert trevirke. CHP anlegget ble satt i drift i 2008 og hadde full kapasitetsutnyttelse i 2009.

Gjennom 2009 og 2010 ble anlegget optimalisert og flere mindre tilpasninger måtte til – ingen hadde forutsett hvor dårlig brenselet egentlig var..!

Med en 2 MW turbin og tilsvarende kraftproduksjon, var det viktig å kjøre anlegget for fullt så mange timer i året som mulig. Det viste seg å være utfordrende å få god nok utnyttelse av den termiske energien. Idéen om å tenke industrielt samarbeid på Kirkenær har vært tilstede i mange år, og nå var det viktig å kartlegge mulige synergieffekter ut i fra CHP anlegget.

10. april 2010 stengte Bergene Holm AS avd Kirkenær sin 7 MW energisentral, som til da hadde levert energien til sitt sagbruks trelasttørker og oppvarmingsbehov, og overlot hele energiforsyningen til Solør Bioenergi. Sagbruket fikk nå frigitt all sin bark og satte i gang produksjon av hagebark. Flis og sagspon som inngikk som en del av samarbeidsavtalen, ble solgt til Solør Bioenergi som igjen fikk en svært kortreist råvare til sin brikettproduksjon.

Med en økt råvarebase kunne også brikettproduksjonen økes betraktelig og tørkekapasiteten måtte bygges ut. I 2011 er en nyutviklet lavtemperaturtørke tatt i bruk for dette formålet. Den får selvsagt sin energi fra CHP anlegget – gammelt farlig trevirke bidrar med andre ord også til å produsere nye, moderne brenselbriketter.

Fra november 2011 er i prinsippet all termisk energi solgt og dersom vinteren blir ekstra kald, må det faktisk spises litt fra annen energisentral!

Anlegget reduserer mengden farlig avfall fra ca 30.000 til ca 1.200 tonn pr år og har i tillegg gitt mange positive synergieffekter både internt i Solør, hos nabobedrifter og for samfunnet for øvrig. En erfaring Solør tar med seg i sin videre satsing på fornybar energi basert på biomasse fra skog og tre. Solør Bioenergi har vist at det er mulig å etablere og operere biomasse baserte CHP anlegg i Norge på en kostnadseffektiv måte, ved å se og utnytte synergieffekter i energimarkedet optimalt.

Solør Bioenergi sitt CHP anlegg på Kirkenær og deres damp-turbin



Store ambisjoner for Gjøvik og Innlandet

På vegne av våre regionale eiere jakter Eidsiva stadig på en totalløsning for fornybar energi. Produksjon av miljøvennlig fjernvarme basert på bioenergi faller dermed naturlig inn sammen med Eidsivas produksjon av vannkraft. På Gjøvik planlegger Eidsiva Norges største biokraftverk for fjernvarme.

Eidsiva Bioenergi er et 100 prosent eid datterselskap av Eidsiva Energi. Selskapet bygger fjernvarmeanlegg i Hedmark og Oppland og leverer fjernvarme og prosessvarme til kunder i åtte byer og tettsteder. Kjernevirksomheten er produksjon, distribusjon og salg av fjernvarme og prosessvarme.

Store ambisjoner

Selskapet ble etablert i oktober 2007 og har vokst fra 5 til over 40 ansatte. Hovedkontoret er på Gjøvik - og er dermed plassert midt i råstoff-riket. 40 prosent av all skog som avvirkes i Norge kommer nemlig fra Hedmark og Oppland. Ambisjonen er å produsere hele 1 TWh fjernvarme i Innlandet.

Høsten 2011 åpnet Trehørningen Energisentral i Hamar, som årlig energigjenvinner 72 000 tonn restavfall til 200 GWh fjernvarme, prosessdamp og el. Anlegget mottar restavfall fra næring og husholdninger i 15 kommuner i Hedmark og Oppland, og er slik sett et mønsterprosjekt for samarbeid på tvers av regioner. Trehørningen Energisentral representerer det største enkeltprosjektet i Eidsiva Bioenergis historie, med en investeringsramme på ca 1 milliard norske kroner. Anlegget ble ferdigstilt til rett tid og rett pris.

Gjøviks største miljøløft

Eidsiva Bioenergis neste store utbyggingsprosjekt er på Gjøvik. Her planlegges et kraftvarmeverk i industriområdet Kallerudlia med en årlig produksjon på 200 GWh, fordelt på fjernvarme, damp og el. Anlegget blir Norges største i sitt slag, og skal fyres med resttrevirke og GROT – råstoff som enten må transporteres langt ut av vår region eller alternativt ikke bli utnyttet. Eidsiva Bioenergi har siden 2008 deltatt i KRAV – SINTEFs

forskningsprosjektet for biokraft. Brensel og teknologivalg er gjort på bakgrunn av dette for å gi anlegget de beste forutsetninger.

– Dette blir Gjøviks største miljøløft og en nasjonal milepæl, uttaler Alf Tunheim, prosjektleder for forprosjektet. Anlegget reduserer kommunens utslipp av CO₂ med 30 % og fjerner lokal luftforurensing fra forurensende oljekjeler.

Dampleveranser til industrien er en forutsetning for at prosjektet kan gjennomføres, og store kunder som Hunton og Hoff har allerede inngått avtaler om leveranser av miljøvennlig energi. Den nedgravde dampledningen på 2,5 km vil holde temperatur og trykk opp mot 250 °C og 30 bar.

– Dampledningen er en svært krevende del av prosjektet, og er unik i nordisk sammenheng. Vi har hentet inn den fremste ekspertise i både Norge og Sverige for dette prosjektet, uttaler Tunheim.

Eidsivas planlagte anlegg på Gjøvik gir industrien forutsigbare og konkurransedyktige energipriser som sikrer arbeidsplasser i byen. Prosjektet er et betydelig miljøløft både for Gjøvik og Mjøsregionen. Anlegget vil gi forbedret luftkvalitet i Gjøvik, og utgjør sammen med et kommende biobrenselanlegg på Lillehammer og avfallsforbrenningsanlegget på Hamar en totalløsning som vil bidra positivt til miljøet lokalt og regionalt, samt være et bidrag til det nasjonale og globale klimaarbeidet.

Dersom alt går etter planen vil spaden stikkes i jorden våren 2012, og selve varmesentralen vil stå ferdig før jul i 2013. Totalinvesteringen for hele prosjektet, inkludert varmesentral og nett, beløper seg til 650 millioner kroner.

Modell av det planlagte anlegget på Gjøvik, og Alf Tunheim som viser hvor anlegget skal ligge.



Åpne publikasjoner

Journal publikasjoner

TGA and macro-TGA characterisation of biomass fuels and fuel mixtures.

Alexandra Skreiberg et al. Fuel 90 (2011) 2182–2197.

Experimental investigation on corrosion abatement in straw combustion by fuel mixing.

Roger A. Khalil et al. Energy & Fuels (2011) 25 (6) 2687–2695.

Optimal mixtures to reduce the formation of corrosive compounds during straw combustion: A thermodynamic analysis.

Michaël Becidan et al. (2011). Energy & Fuels 25 (7) 3223–3234.

Effect of excess air ratio and temperature on NOx emission from grate combustion of biomass in the staged air combustion scenario.

Ehsan Houshfar et al. (2011). Energy & Fuels 25 (10) 4643–4654.

Combustion properties of Norwegian biomass: Wood chips and forest residues.

Ehsan Houshfar et al. Applied Mechanics and Materials Vols. 110-116 (2012) 4564-4568.

Process synthesis and economics of combined biomethanol and CHP energy production derived from biomass wastes.

Rajesh S. Kempegowda et al. Accepted for publication in Journal of Chemical Technology & Biotechnology.

Reduced chemical kinetics mechanisms for NOx emission prediction in biomass combustion.

Ehsan Houshfar et al. Submitted to International Journal of Chemical Kinetics.

NOx emission reduction by staged combustion in grate combustion of biomass fuels and fuel mixtures.

Ehsan Houshfar et al. Submitted to the journal Fuel.

Ash related behaviour in staged and non-staged combustion of biomass fuels and fuel mixtures.

Michael Becidan et al. Submitted to the journal Biomass and Bioenergy.

Cost modeling approach and economic analysis of biomass gasification integrated SOFC systems.

Rajesh S. Kempegowda et al. Submitted to Journal of Renewable and Sustainable Energy.

The effect of turbulence on the particle impaction on a cylinder in a crossflow.

Nikolai Hydle Rivedal et al. Submitted to Journal of Aerosol Science.

Experimental investigation on NOx reduction by primary measures in biomass combustion: Straw, peat, sewage sludge, forest residues, and wood pellets.

Ehsan Houshfar et al. Submitted to the journal Energies.

Enhanced NOx reduction by combined staged air and flue gas recirculation in biomass combustion.

Ehsan Houshfar et al. To be submitted to the journal Energy & Fuels.

Gasification and pyrolysis based CHP systems – Review with a focus on small scale systems in a Norwegian context.

Rahul Anantharaman et al. To be submitted to an international journal.

Influence of additives from wastes on biomass ash sintering tendency.

Liang Wang et al. To be submitted to the journal Energy & Fuels.

Konferanse publikasjoner

Detailed chemical kinetics modelling of NOx reduction in combined staged fuel and staged air combustion of biomass.

Ehsan Houshfar et al. Proceedings of 18th European Biomass Conference and Exhibition, 3-7 May 2010, Lyon, France, pp. 1128-1132.

Economic analysis of combined cycle biomass gasification fuelled SOFC Systems.

Rajesh S. Kempegowda et al. International Conference on Future Environment and Energy (ICFEE 2011), 25-27 March 2011, Sanya, China.

Process modeling of biomass fuelled small-scale CHP plants under Norwegian conditions.

Rajesh S. Kempegowda et al. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany.

Combined methanol and CHP energy production derived from biomass wastes with reduced carbon.

Rajesh S. Kempegowda et al. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany.

Methane rich gas production from biomass pyrolysis for small scale CHP application and char as co-products.

Rajesh S. Kempegowda et al. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany.

Energy and exergy analysis of biomass gasification with dried and torrefied willow as feedstocks.

Dhruv Tapasvi et al. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany.

A reduced chemical kinetics mechanism for NOx emission prediction in biomass combustion.

Ehsan Houshfar et al. Proceedings of 7th International Conference on Chemical Kinetics, 10-14 July 2011, Cambridge, MA, USA.

Effect of gasification agents on hydrogen yield for Norwegian biomass feedstocks and refined fuels and fuel mixtures thereof.

Rajesh S. Kempegowda et al. International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS 2011), 30 Aug - 1 Sep 2011, Vienna, Austria.

Cost-effective small-scale CHP solutions for the Norwegian market.

Øyvind Skreiberg. Nordic Bioenergy 2011, 5-9 September 2011, Jyväskylä, Finland.

Mixtures to affect ash chemistry in straw combustion.

Michael Becidan et al. Accepted for publication in proceedings from Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), 26-28 March, 2012 Shanghai, China.

Characterisation of ashes from two agricultural residues.

Liang Wang et al. Accepted for publication in proceedings from Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), 26-28 March, 2012 Shanghai, China.

Pelletizing and combustion behaviors of wood waste with additives mixing.

Geir Skjevrvak et al. Accepted for publication in proceedings from Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), 26-28 March, 2012 Shanghai, China.

A critical review on additives to reduce potassium related operation problems in biomass combustion.

Liang Wang et al. To be presented at Renewable Energy Research Conference, 16-17 April 2012, Trondheim, Norway. Manuscript to be submitted to Energy Procedia.

Effects of additive on barley straw and husk ashes sintering characteristics.

Liang Wang et al. To be presented at Renewable Energy Research Conference, 16-17 April 2012, Trondheim, Norway. Manuscript to be submitted to Energy Procedia.

Techno-economic evaluations of various biomass CHP technologies and policy measures under Norwegian conditions.

Rajesh S. Kempegowda et al. To be presented at Renewable Energy Research Conference, 16-17 April 2012, Trondheim, Norway. Manuscript to be submitted to Energy Procedia.

Konferanse presentasjoner

Emission control through primary measures in biomass combustion.

Ehsan Houshfar et al. Presented at Renewable Energy Research Conference – Renewable Energy Beyond 2020, 7-8 June 2010, Trondheim, Norway.

Two stage combustion of biomass and the effects on NOx emissions.

Ehsan Houshfar et al. Presentation at the CenBio days 2011, 17-18 January, Trondheim, Norway.

NOx emission reduction by staged combustion in a grate fired multifuel reactor.

Ehsan Houshfar et al. Presented at General Section Meeting of SNCI, Trondheim, 28-29 November, 2011.

Rapporter

Skogsbrensel i Norge – status og muligheter.

Helmer Belbo et al. Rapport utført for KRAV prosjektet av Norsk institutt for skog og landskap, 2008.

Status på problemer knyttet til bruk av ulike biobrensler. Judit Sandquist et al. SINTEF rapport TR A6716, 2008.

Initielle multibrensel reaktor forsøk i KRAV prosjektet. Judit Sandquist et al. SINTEF rapport TR A6766, 2008.

Thermogravimetric investigation of four fuels. Judit Sandquist et al. SINTEF rapport TR A6769, 2008.

Småskala kraft/varme anlegg – Teknologistatus. Roger Khalil et al. SINTEF rapport TR A6773, 2008.

Evaluations of biomass CHP technologies in a Norwegian context. Øyvind Skreiberg et al. SINTEF rapport TR A6809, 2009.

Advanced particle measurement equipment at SINTEF Energy Research. Mario Ortega et al. SINTEF rapport TR A6825, 2009.

Characterisation studies on peat. Øyvind Skreiberg et al. SINTEF rapport TR A6901, 2009.

Small-scale biomass CHP recommendations for Norway. Øyvind Skreiberg. SINTEF rapport TR A7170, 2011.

Populærvitenskapelige publikasjoner

Vil øke bruken av småskala biomasse CPH. Øyvind Skreiberg. Xergi 3-2009, SINTEF Energi.

KRAV = KRAft + Varme

**Enabling small-scale biomass CHP in Norway
- et prosjekt støttet av Norges Forskningsråd**

Partnere:

**Agder Energi AS, Eidsiva Bioenergi AS, Solør Bioenergi Holding AS,
Statkraft Varme AS, Vardar AS, NTNU og SINTEF**

Kontaktperson:

Øyvind Skreiberg, telefon: 73 59 39 93, Oyvind.Skreiberg@sintef.no