

1242

Värmeforsks Basprogram 2008-2011

Syntesrapport

Gullvi Borgström, Birgitta Strömberg

Värmeforsks Basprogram 2008-2011

Syntesrapport

Varmeforsk Basic Programme 2008-2011

Synthesis report

Gullvi Borgström, Birgitta Strömberg

Abstract

Värmeforsks basprogram 2008-2011 har finansierat 82 projekt inom fyra huvudområden;

- Anläggning- och förbränningsteknik 20 projekt
- Material- och kemiteknik 28 projekt
- Processtyrning 13 projekt
- Systemteknik 19 projekt

Dessutom har ytterligare två projekt av allmän karaktär genomförts inom programmet.

De nio delmålen i Energimyndighetens beslutsbrev är i allt väsentligt uppnådda.

Sammanfattning

Värmeforsks Basprogram har haft som mål att bidra till utveckling av effektivare och mer miljövänliga kraft- och värmeproduktionsanläggningar samt skogsindustriella lut- och bibränslepannor. Huvudinriktningen har varit produktion av el och värme, samt i viss mån för kombinerad produktion av, t.ex. kyla, drivmedel och andra produkter. Forskningsprogrammets syfte har i första hand varit att ta fram tekniska lösningar för att utveckla produktionen av bibränslebaserad el och värme. Genom programmets struktur och organisation har detta också lett till kunskapsuppbyggnad hos branschens aktörer, vilket har varit ett viktigt delmål.

Programmet har under programperioden haft fokus på *resurshushållning* och *energieffektivisering*, vilket delvis hänger samman med ökat medvetande om klimatfrågor tillsammans med nationella och internationella klimatmål. Detta har framförallt varit kopplat till EU:s förslag till ny energipolitik, som under programperioden också blivit svensk lag.

Basprogrammet 2008-2011 har finansierats av industrin tillsammans med Energimyndigheten. Den totala omfattningen av programmet har varit knappt 82 MSEK, varav Energimyndigheten finansierat 34,3%.

Under programperioden har Värmeforsk finansierat 82 projekt för att uppfylla de nio delmål som finns angivna i energimyndighetens beslutsbrev:

1. Anpassning av bränsleberedning, förbränningsanordning och teknik för minst 3 bränslen som inte tidigare utnyttjats i större utsträckning
2. Utveckla rökgasreningssystem för minst 3 bränslen/bränslemixar
3. Processutformning och materialval för ökat elutbyte vid temperaturer upp till 600°C
4. Processval för kraftvärmeanläggningar i skalan 2-10MW
5. Energieffektiva systemlösningar för lönsam produktion av mer än en energibärare
6. Ta fram minst tre tillämpningsbara koncept för energikombinatlösningar
7. Processutformning och reningsteknik för ämnen som omfattas av EUs vattendirektiv
8. Lösningar för befintliga anläggningar som kan ge reducerade drift- och underhållskostnader
9. Utveckling av tekniska lösningar så att de nationella miljömålen kan nås

Summary

The aim of Värmeforsk Basic program has been to contribute to the development of more efficient and environmentally friendly heat and power plants and forest industry liquor- and biomass boilers. The main focus has been the production of heat and power, and to some extent production of district cooling, fuel and other products. The basic program's purpose has primarily been to develop technical solutions to develop the production of biomass-based heat and power. The program's structure and organization has led to the development of knowledge of industry players, which has been an important milestone.

This programming period has focused on resource conservation and energy efficiency, which is partly related to the increased awareness of climate change, together with national and international climate. This has especially been linked to the EU's proposal for a new energy policy, which during the program period also become Swedish law.

The basic program 2008-2011 was funded by the industry together with the Swedish Energy Agency. The overall volume of the program was approximately 82 million, of which Energy Agency funded 34.3%.

During the program period, Värmeforsk funded 82 projects to meet the nine milestones listed by the Swedish Energy Agency:

1. Adaptation of the fuel preparation, combustion device and techniques for at least 3 fuels which have not been used to a greater extent
2. Develop gas cleaning system for at least 3 fuels / fuel mixes
3. Process design and materials for increased power exchange at temperatures up to 600°C
4. Process selection for CHP in the range 2-10MW
5. Energy-efficient system solutions for profitable production of more than one energy carrier
6. Develop at least three-applicable concepts for energy combines solutions
7. Process design and control technologies for chemicals in the EU water directive
8. Solutions for existing facilities that can provide reduced operating and maintenance costs
9. Development of technical solutions to the national environmental objectives can be reached

Evaluation of Värmeforsks basic program 2008-2011 shows that the activity contributed significantly to improving the profitability of heat and power production, and helped to increase knowledge among industry players

The evaluation notes that Värmeforsk base program "make a difference" in some important matters:

- Climate change

- Combined heat and power based from biomass
- The forest industry's energy supply
- Link between universities and industry
- To implement the regulatory requirements on the industry
- Knowledge transfer to the industry

The basic programs link between universities and industry consists of about 100 industry employees and about ten university researchers. An interesting observation is that the participating industrial researchers often have completed their postgraduate degrees. It must be understood that the Energy Agency's long-term investment in the energy sector is starting to deliver. The level of competence in the industry has been raised! It is this network that makes Sweden an international leader in biomass-based heat and power generation and energy-intensive process. Universities have access to field laboratory and help with problem identification and the industry gain insight into new theoretical advances and contact with the international research front, and access to an important recruitment base. An extraordinary "win - win" situation.

CHP and decentralized generation of electricity is vital taking into account that the fuel occurs locally. The forest industry is our base industry and energy supply of this is particularly critical for the forest industry's profitability. Swedish forest industry has long been an international leader in the field of process industry and polygeneration plants. Värmeforsk has effectively helped to maintain this position.

The evaluation states that the authorities issuing the instruments in the form of taxes, laws, allowances, limits, etc. for conversion of the Swedish energy system has been greatly helped by Värmeforsk Basic program to translate the control signals to real world scenarios results. The basic program helps to implement the regulatory requirements on the energy industry.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	1
1.3	MÅL OCH MÅLGRUPP	2
2	ANLÄGGNING OCH FÖRBRÄNNINGSTEKNIK	3
2.1	FÖRBRÄNNING AV BIO- OCH AVFALLSBRÄNSLEN	3
2.2	BRÄNSLERELATERADE FRÅGOR I BASPROGRAMMET 2008-2011	12
2.3	MINIMERAD MILJÖPÅVERKAN	28
2.4	PROJEKT OM MINIMERAD MILJÖPÅVERKAN I BASPROGRAMMET 2008-2011	29
2.5	ANLÄGGNINGSKONCEPT	36
2.6	PROJEKT OM ANLÄGGNINGSKONCEPT I BASPROGRAMMET 2008-2011	39
2.7	KUNSKAPSLUCKOR	51
2.8	SLUTSATSER	52
3	MATERIAL- OCH KEMITEKNIK	53
3.1	BRÄNSLERELATERADE MATERIAL- OCH KEMIFRÅGOR	54
3.2	MILJÖRELATERADE MATERIAL- OCH KEMIFRÅGOR	70
3.3	TILLGÅNGLIGHETS- OCH LIVSLÄNGDSFRÅGOR	77
3.4	KUNSKAPSLUCKOR	95
3.5	SLUTSATSER	97
4	PROCESSTYRNING	98
4.1	REGLERTEKNIK OCH OPTIMERING	99
4.2	INTERAKTION PROCESS – ANVÄNDARE	110
4.3	MÄTTEKNIK	113
4.4	KVALITET OCH SÄKERHET	117
4.5	KUNSKAPSLUCKOR	119
4.6	SLUTSATSER	120
5	SYSTEMTEKNIK	121
5.1	HÅLLBAR BRÄNSLEFÖRSÖRJNING – NYA KONCEPT OCH RÅVAROR	122
5.2	RESURSHUSHÅLLNING	128
5.3	ENERGIKOMBINAT – LOKALA OCH REGIONALA ENERGILÖSNINGAR	130
5.4	KUNSKAPSLUCKOR	152
5.5	SLUTSATSER	153
6	RESULTATSAMMANFATTNING	154
6.1	BRÄNSLEFRÅGOR	154
6.2	ANLÄGGNINGSKONCEPT	156
6.3	BIOENERGIKOMBINAT	159
6.4	VATTENRENINGSTEKNIK	160
6.5	DRIFT- OCH UNDERHÅLL	161
6.6	PRODUKTIONSPLANERING OCH OPTIMERING	163
7	SLUTSATSER FRÅN BASPROGRAMMET 2008-2011	165
7.1	ANLÄGGNINGSTEKNISKA ASPEKTER	166
7.2	BRÄNSLEN	167
7.3	MATERIAL OCH KORROSION	167
7.4	DRIFT- OCH UNDERHÅLL	168
7.5	EMISSIONER	168
7.6	ENERGIKOMBINAT	168

7.7	PROCESSTYRNING	169
7.8	HANDBÖCKER, GUIDELINES OCH REKOMMENDATIONER.....	169
8	LITTERATURREFERENSER	171

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Värmeforsk är ett branschorgan för forskning och utveckling inom energisektorn, speciellt inriktad mot bränslebaserad el- och värmeproduktion. I Värmeforsk samlas energiproducenter, skogsindustri, konsulter och tillverkande industri tillsammans med staten via Energimyndigheten. Syftet med verksamheten är att bedriva konkurrensneutral forskning med fokus på samordning mellan forskning, teknisk utveckling och tillämpning.

Forskningsprogrammet styrs av de behov som branschen finner mest angelägna, vilket till stor del är beroende av olika omvärldsfaktorer, t.ex. uppsatta miljömål. Miljöfrågor har en central roll i Värmeforsks forskningsprogram, där forskning kring biobränslebaserad el- och värmeproduktion stått i fokus de senaste 20 åren.

Organisatoriskt är Värmeforsk indelat i två programområden, basprogrammet och tillämpade program. Basprogrammet är historiskt Värmeforsks kärna, där intressenterna samlas kring ett gemensamt program som fastställs för en period i taget. De tillämpade programmen upprättas efter förväntat intresse eller uttalat behov inom något specifikt område. Dessa program finansieras av företag som har speciellt intresse för det aktuella programmets inriktning.

Forskningsprojekten inom basprogrammet har hög teoretisk nivå, där Värmeforsk ofta utgör en länk mellan forskning som bedrivs på universitet, högskolor eller andra forskningsorgan och tillämpade praktiska studier på anläggningar.

Värmeforsks basprogram 2008-2011 har finansierat 82 projekt inom fyra huvudområden;

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| · Anläggning- och förbränningsteknik | 20 projekt |
| · Material- och kemiteknik | 28 projekt |
| · Processtyrning | 13 projekt |
| · Systemteknik | 19 projekt |

Dessutom har ytterligare två projekt av allmän karaktär genomförts inom programmet.

1.2 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Värmeforsks basprogram är inriktat mot utveckling av kunskap och teknik inom bränslebaserad el-, värme- och kylproduktion i anläggningar med tillförd bränsleeffekt över 2MW_{th} . I huvudsak ska projekten avse området innanför en produktionsanläggnings staket och förväntas ge resultat som kan tillämpas inom fem år.

Innehållet i basprogrammet styrs av de behov som branschen finner mest angelägna. För basprogrammet 2008-2011 fanns nedanstående konkreta nio delmål:

- anpassning av bränsleberedning, förbränningsanordningar och förbränningsteknik vid utnyttjande av minst tre bränslen som inte nyttjas i större omfattning idag, och som förväntas ge problem i anläggningarna
- att för minst tre bränslen eller bränslemixar som inte utnyttjas i större omfattning idag, utveckla rökgasreningssystem som kostnadseffektivt minimerar emissionerna av stoft, halogener, dioxin och kolväte
- processutformning och materialval för ökat elutbyte i kraftvärmeanläggningar för en ångprocess med högre ångtemperaturer, upp till 600°C
- processval för kraftvärmeanläggningar med värmeeffekter 2 – 10 MW med elproduktionskostnad på högst 600 kr/MWh
- energieffektiva systemlösningar för lönsam produktion av mer än en av energibärarna el, kyla och bränslen i kombination med värmeproduktion
- att inom en femårsperiod ta fram minst tre nya tillämpningsbara koncept för energikombinatlösningar där synergieffekterna ger effektiva energisystem och god hushållning med resurser
- processutformning och reningsteknik för att kostnadseffektivt reducera och så småningom helt eliminera utsläpp av prioriterade och farliga ämnen som omfattas av EU:s vattendirektiv
- lösningar för befintliga anläggningar som kan ge reducerade drift- eller underhållskostnaderna med minst 20 % på komponentnivå och 5 % på systemnivå
- utveckling av tekniska lösningar för att kostnadseffektivt reducera emissioner så att nationella miljömål kan innehållas

1.3 Mål och målgrupp

Målet med denna syntesrapport om Värmeforsks basprogram 2008-2011 är främst att ge en överskådlig sammanfattning av resultaten av verksamheten och att lyfta fram de viktigaste framstegen samt att identifiera kunskapsluckor.

Målgruppen för rapporten är Värmeforsks styrelse och medlemsföretag samt Energimyndigheten.

2 Anläggning och förbränningsteknik

2.1 Förbränning av bio- och avfallsbränslen

Kunskap om förbränning av biobränsle har en lång tradition i Värmeforsk. Den första Värmeforskrapporten som behandlade förbränning av biobränslen publicerades 1982, och avhandlade konvertering av kolpannor till inhemska fasta bränslen, såsom torv, bark, flis och halm. Detta står i ljuset av oljekrisen 1979, då regeringen inrättade en ny lag som innebär att nya pannor > 50GWh/år ska designas för att kunna användas för fasta bränslen. Lagen trädde i kraft 1982. Det är dock speciellt sedan Sverige införde koldioxidskatt 1991, som frågan haft stort utrymme på Värmeforsk agenda.

2.1.1 *Biobränsle, additiv och förbränningskemi*

Överhettarkorrosion i bioeldade anläggningar uppmärksammades som ett problem under 90-talets första hälft i samband med skador rapporterade från ett flertal kraftvärmeverk som börjat använda biomassa som råvara. Flertalet biobränsleeldade kraftvärmeverk i Sverige rapporterar mer eller mindre omfattande korrosionsproblem i överhettare som ger oacceptabelt kort livslängd [Värmeforsk rapport 708, 887] Efterhand har ett omfattande arbete dragits igång för att diagnosticera, förklara och finna lösningar på problemen. Olika angreppssätt har antagits för att minska problemen och tidigt var man inne på att tillsätta additiv för att minska biobränslets negativa effekter.

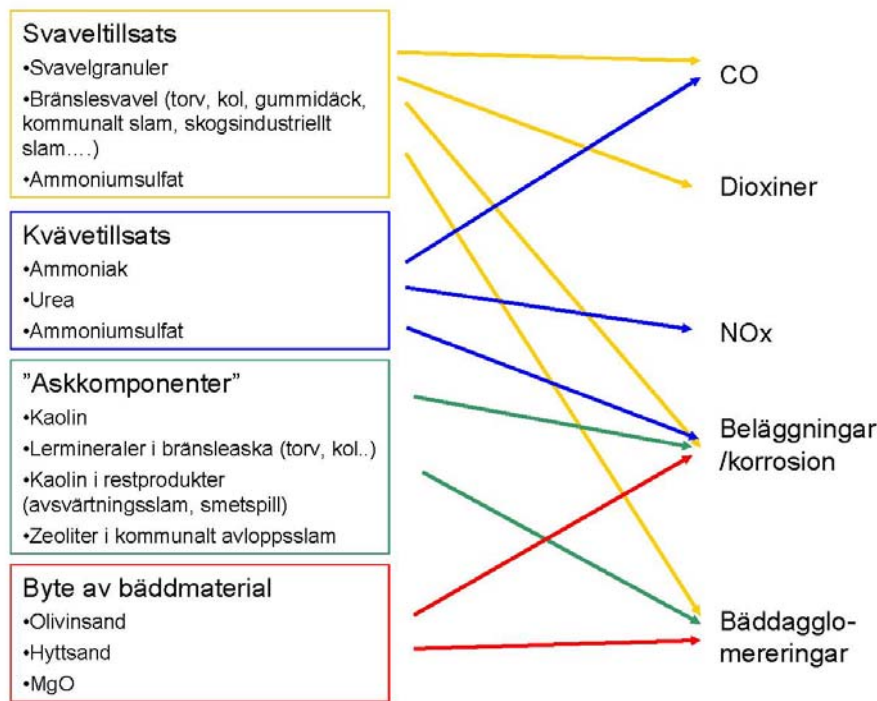
Orsaken till överhettarkorrosion kan sökas i ett stort antal samverkande faktorer från anläggningsnivå till detaljnivå:

- Hög yttemperatur på överhettarna (pga. höga ångtemperaturer)
- Innehåll av alkali och klor i bränslet
- Förbränning med bl.a. stråkbildning och reducerande förhållanden.
- Överhettarnas placering
- Materialval

Syftet med att tillsätta additiv är att man vill påverka den kemiska miljön så att lättflyktiga ämnen i bränslet hindras från att följa med rökgasen upp i pannan och orsaka beläggingsbildning och korrosion. För att uppnå detta behöver additivet ha hög bindningskapacitet för alkali, snabb bindningshastighet och bilda stabila produkter. Syftet med additiv kan också vara att genom tillsats av kemiska reaktanter ändra sammansättningen på rökgaserna så att emissionerna minskar.

Som bidragande faktorer för ökad korrosion kan man på anläggningsnivå finna pannkonstruktion, bränsleval, förbränningsförhållanden och materialval. På detaljnivå finner man till exempel strömningsfördelning i överhettare, bränsleaskans tendens att generera smält fas, lokala förbränningsbetingelser och utarmning av materialet med avseende på legeringsämnen. Forskningen rörande bakomliggande mekanismer kring askrelaterade driftproblem är fortfarande pågående, emedan problemen under åren alltmer har inringats och större förståelse har uppnåtts. Målet är dock rörligt, då det ständigt dyker upp ny bränslen och bränslemixar, som alla har sina egenskaper, och svårigen kan placeras i ett ”fack” med ett tillämpligt recept för åtgärder.

Olika angreppssätten kan ge olika synergieffekter, inte bara konsekvenser för bäddagglomerering, beläggingsbildning och korrosion, utan även för emissioner av andra ämnen som CO, TOC, dioxiner, SO₂ och NO_x, vilket Figur 1 illustrerar.



Figur 1. Schematisk bild över hur olika åtgärder kan påverka olika parametrar

Figure 1. Schematic diagram showing how various actions affect different parameters

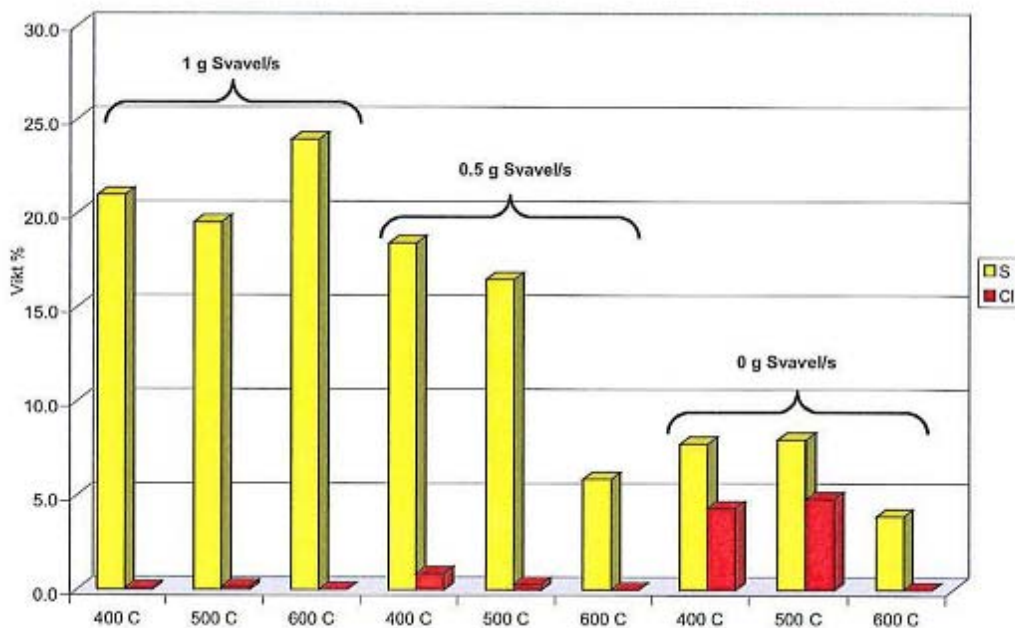
2.1.2 Överhettarkorrosion och additiv

I tidigare Värmeforskprogram har olika additiv identifierats och utvärderats. Programperioden 2008-2011 tar avstamp i resultat från tidigare program.

Svavel

Svavel är det additiv som vunnit störst genomslag för att minska problem med överhettarkorrosion. Redan i studier från tidigt 90-tal, bland annat från Finland, kunde man påvisa att vid förbränning av svavelhaltiga bränslen, som kol och torv, minskade beläggningarna på överhettartuberna. Anläggningar som sameldade biobränslen med fossila bränslen eller torv uppvisade normalt inte lika omfattande överhettarkorrosion.

För att verifiera teorierna startade Värmeforsk försök med att dosera svavel i fullskala på en anläggning 30 MW FB panna. Svavlet tillfördes bränslet i form av granuler strax före inmatning till pannan. Mätningar utfördes med avlagringssond som var placerad vid överhettaren. Resultaten visade tydligt att vid dosering av svavel minskade klordepositionen på mätsonderna, se Figur 2.

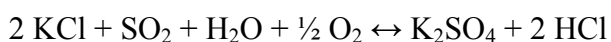


Figur 2. Resultat av avlagringsond vad gäller svavel och klor. [Värmeforsk rapport 708]

Figure 2. Result from deposit probe concerning sulphur and chloride.

Enkel uttryckt kan mekanismerna förklaras med att i frånvaro av svavel är alkali främst bundet som alkaliklorid. I biobränsle utgör största delen alkali av kalium. Vid förbränning frigörs klor från bränslet som reagerar med kalium och bildar kaliumklorid, KCl. Den partikelbundna kaliumkloriden transporteras via rökgaserna till överhettaren där utkondensation sker på tuberna. I hypotesen för korrosionsmekanismerna antas att kaliumklorid på oxidytan omvandlas till klorgas (Cl_2). Klorgasen diffunderar genom oxiden till metall/oxid gränsytan där den reagerar med metallen och utarmar metallens skyddande oxidskikt på krom.

I närvaro av svavel kan kaliumklorid ombildas till kaliumsulfat K_2SO_4 som är en stabil och mindre korrosiv förening vid normala överhettartemperaturer. Reaktionerna kan sammanfattas enligt:



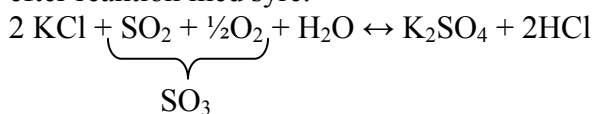
Den bildade vätekloriden, HCl passerar överhettaren utan att kondensera.

Tillförsel av svavel kan ske antingen genom att välja att samelda bränsle där svavel naturligt finns i större andel, t.ex. kol och torv, eller genom att tillföra elementärt svavel som svavelgranuler tillsammans med bränslet. En fördel med svavelgranuler gentemot samförbränning med torv/kol av svavelhaltigt bränsle är att driftförhållandena i pannan inte ändras.

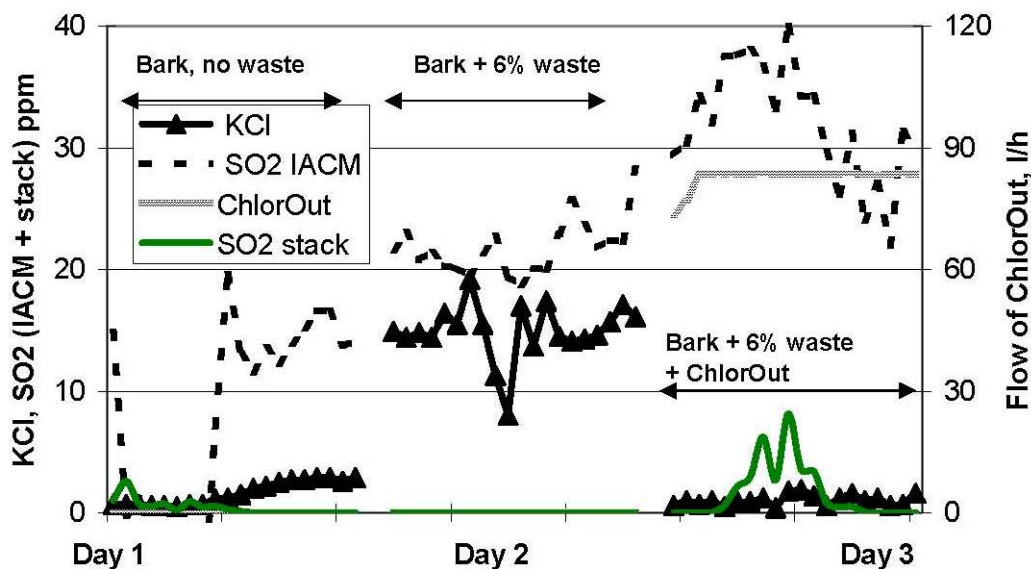
Som en värdefull bieffekt av svaveldoseringen kunde noteras att både CO och NO_x-halterna sjönk i rökgaserna.

Ammoniumsulfat - Chlorout

Ett ytterligare alternativ till svaveltillförsel är i form av ammoniumsulfat. Vattenfall har patenterat ett koncept för svaveldosering som kallas Chlorout. Metoden innebär att ammoniumsulfat i form av vattenlösning sprayas in i övre delen av eldstaden för att reagera med alkaliklorider. Genom att mäta alkalikloridhalten online i rökgasen med IACM (In-situ Alkali Chloride Monitor) kan doseringen avpassas för att ge maximal verkan utan överdosering vid varierande driftförhållanden. Sulfatinsprutning har visat sig vara en effektiv form av svaveltillsats eftersom det då direkt bildas SO₃, vilket antas vara den aktiva svavelformen. Vid tillsats av granulärt svavel eller SO₂ bildas SO₃ först efter reaktion med syre:



Att använda ammoniumsulfat istället för någon annan typ av sulfat har fördelen att ammonium hjälper till att reducera kväveoxider (NO_x). Man kan således förenklat säga att tillsats av ammoniumsulfat kombinerar funktionerna av svaveldosering till bränslet och dosering av ammoniaklösning i SNCR (selektiv icke-katalytisk rening). En nackdel med denna kombination är emellertid att svavel- respektive ammoniumtillförseln inte kan regleras var för sig.



Figur 3. Halter av KCl och SO₂ vid överhettarna vid uppmätta försök i barkeldad CFB-panna ChlorOut minskade KCl-halten. [Värmeforsk rapport 887]

Figure 3. KCl and SO₂ levels at the superheaters made during fuel tests at a CFB bark-fired boiler. ChlorOut reduced the KCl levels.

För emissioner av NO_x och CO visade ett flertal försök att svavel kunde minska utsläppen.

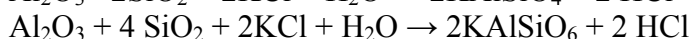
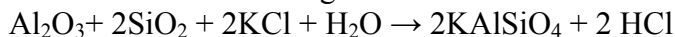
I samband med dessa försök i biobränsleeldade anläggningar upptäcktes att svavel även hade positiv inverkan på beläggningar och korrosion på värmeöverförande ytor.

Värmeforsks ramprogram ”Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade problem”, har genomförts i tre etapper.

Jämfört med fossila bränslen så innehåller biobränslen betydligt högre halter av kalium och klor och mindre svavel. Beräkningar och prov i Falun och Hässelby har visat att kalium i första hand binds som sulfat snarare än som klorid och att klor då kommer att bindas och avgå som väteklorid. I biobränsle finns normalt inte tillräckligt med svavel varför relativt höga halter av kaliumklorid kan bildas. Om svavelhaltiga bränslen som kol och torv blandas med biobränslen bör emellertid mängden bildad kaliumklorid minska och även risken för klorinducerad överhettarkorrosion. Här måste dock inflikas att om "sulfatisering" av kaliumklorid (även natriumklorid) sker i avlagringarna finns en risk enligt litteraturuppgifter att frigjort klor, som Cl₂ eller HCl beroende på temperaturen, kan bidra till att ett högt partialtryck för klor upprätthålls i avlagringen.

Kaolin

Kaolin är ett vitt lermaterial med huvudbeståndsdelen aluminium-silikathydrat (Al₂O₃*2SiO₂*2H₂O = Al₂Si₂O₅(OH)₄). Kaolin kan med sin stora specifika yta adsorbera besvärliga alkaliska ämnen. Mekanismen för bindandet av kalium till kaolin har visat sig vara både kemisk reaktion och fysikalisk adsorption. De övergripande reaktionerna för bindning av kalium till kaolin antas ske enligt nedan:



Som framgår av reaktionsformlerna binds inte klor av kaolin utan istället bildas HCl i rökgasen.

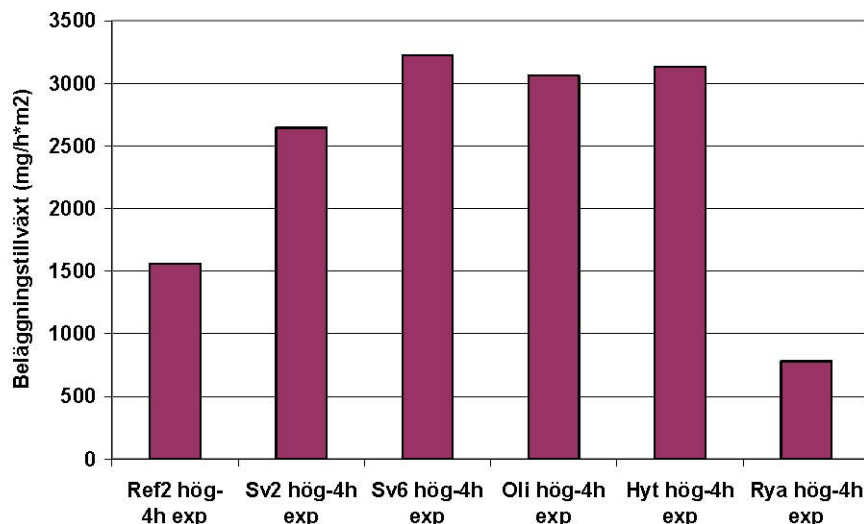
I dagsläget används inte kaolin som additiv i kommersiella pannor, främst för att det är relativt dyrt. Kaolin är ett lermineral och andra liknande mineraler återfinns i vissa torvkväligheter. Torv kan därmed bidra till positiva effekter för askrelaterade driftproblem både p.g.a. mineralinnehållet samt dess relativt höga svavelhalt. Även vissa skogsindustriella slam innehåller kaolin och andra mineraler som skulle kunna ge positiva resultat vad gäller minskad påslagsbildning vid samförbränning med dessa typer av slam.

Rötslam

Rötslam räknas, än så länge, inte till de etablerade ”additiven”. Förbränning av kommunalt avloppsslam studerades inledningsvis för att bedöma eventuella negativa effekter vid samförbränning med biomassa. Destruktionsproblematiken grundade sig på att många slam inte klarade uppsatta gränsvärden för att få läggas ut på åkermark, samtidigt som en kostnad för deponering infördes.

Det var först vid försök i Chalmers försökspanna som det upptäcktes att samförbränning av träpellets med rötat avloppsslam hade gynnsam effekt både för tendensen till bäddagglomerering och för beläggningar på värmeöverförande ytor i pannan.

Figur 4 visar försök där beläggningstillväxten uppmättes på sonder placerade vid överhettaren. Efter 4 timmars mätning är beläggningsringen i princip ren och endast små mängder av grov flygaska har deponerats på ringen.



Figur 4. Total beläggningstillväxt vid 12-timmarsförsök

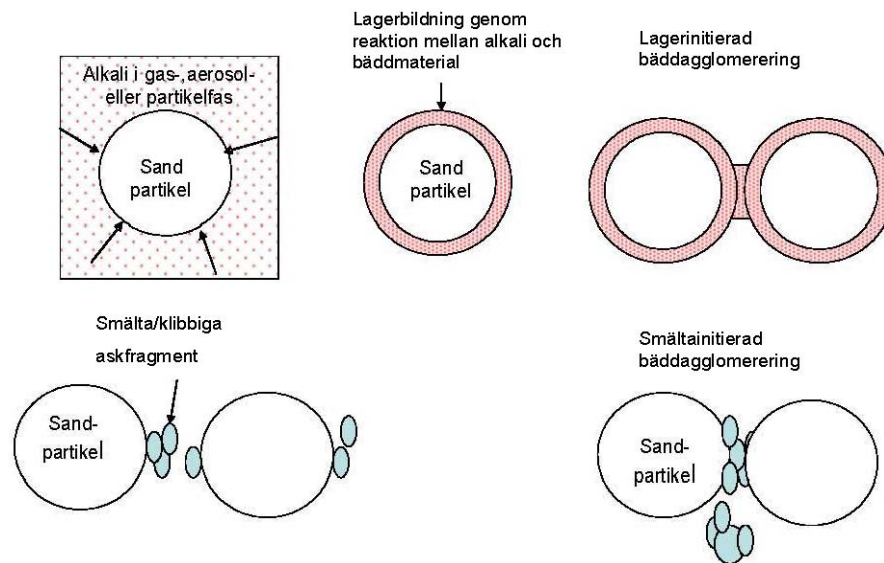
Figure 4. Total deposit formation at the 12 hours tests

Det är ännu inte klarställt vad det är i rötslam som ger den positiva effekten på alkalirelaterade problem. Effekten gäller inte generellt, utan endast vissa slam.

2.1.3 Additiv och bäddagglomerering

Bäddagglomerering orsakas av *interaktion mellan askkomponenter från bränsle och bäddmaterialet*. Mekanismerna kan förenklat beskrivas sägas bestå av två fenomen: (se Figur 5)

- **Lagerinducerad bäddagglomerering** – där bäddmaterialets kvartsinnehåll och alkali från bäddaskan samverkar och bildar ett lager av alkalisilikater. När man fått ett tillräckligt tjockt lager där en del är i smält fas kan det bildas bryggor mellan olika bäddpartiklar som då bildar början på ett agglomerat.
- **Smältainducerad bäddagglomerering** – där bränsleaskan i sig har en låg smältpunkt t.ex. halmaska och kan fastna på bäddpartiklar. De kladdande askfragmenten kan sedan bygga bryggor mellan bäddpartiklar eller med varandra. (De kan också reagera med bäddmaterialet och delta i lagerbildningen.)



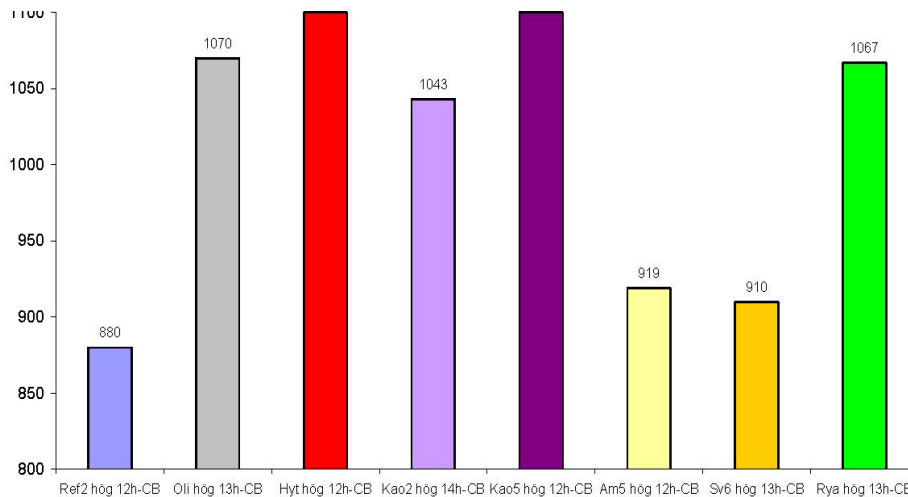
Figur 5. Förenklade beskrivningar av de bakomliggande mekanismerna för bäddagglomering Lagerinducerad bäddagglomering överst och smältainducerad bäddagglomering nederst [Värmeforsk rapport 997]

Figure 5. Simplified description of the mechanism of bed agglomeration The top figures describe coating initiated bed agglomeration The bottom figures describe agglomeration initiated by melted ash particles

Syftet med fluidbäddpannor är huvudsakligen att genom bäddynamiken och den ackumulerade värmen i bädden skapa en bra omblandning av bränsle och syre så att god förbränning kan erhållas. Fluidiseringen är beroende av flera egenskaper hos bäddmaterialet samt hur dessa egenskaper samverkar med valt bränsle och mängden tillförd primärluft. Bäddmaterialets storleksfördelning, form och densitet är några viktiga parametrar för god fluidisering.

Vid bäddagglomering bildas ”klumpar” av bäddmaterial som stör bäddens fluidisering och kan i värsta fall orsaka att bäddens fluidisering upphör, vilket innebär ett kostsamt produktionsbortfall.

Bäddmaterialets egenskaper har stor betydelse för dess benägenhet att agglomerera. Det går dock inte att generalisera och säga att ett visst bäddmaterial är det bästa för alla bränslen. Bränslets sammansättning och valet av bäddmaterial har olika effekt på agglomereringstendensen, dvs. bäddmaterial/-bränsleinteraktionen varierar. Liksom för beläggningar och korrosion på överhettare, kan additivtillsats minska problemen med bäddagglomering.



Figur 6. Agglomereringstemperaturer för cyclonbensprover vid försök med olika additiv

Figure 6. Agglomeration temperatures for the cyclone bed material from the different tests

För vanliga träbränslen som träpellets, GROT, bark etc. är det välkänt att byte av bäddmaterial från en kvartsrik natursand till ett kvartsfattigt bäddmaterial som t.ex. olivinsand eller hyttsand (masugnsslagg) minskar agglomereringstendenserna. I Figur 6 visas att både olivinsand (Oli) och hyttsand (Hyt) har högre agglomereringstemperatur jämfört med silversand (Ref). Vid tillsats av additiv visade resultaten att kaolin är effektivt för att minska agglomereringstendenser, medan svaveltillsats, varken granuler eller som ammoniumsulfat, verkade ge någon effekt på agglomereringsegenskaperna. Samförbränning med rötat avloppsslam (Rya) ökade markant agglomereringstemperaturen.

2.1.4 Additiv och emissioner

Reduktion av CO och NO_x

Vid tidiga försök med att dosera elementärt svavel till bränslet för att påverka beläggningssituationen på överhettarna i en BFB-panna i gynnsam riktning vid biobränsleledning, noterades av en tillfällighet att det syntes som om CO och NO_x också påverkades i gynnsam riktning av tillsatsen av svavel.

Vid uppföljning av försöken kunde konstateras att svaveltillsatser vid biobränsleledning ger en ökad oxidation av främst CO och THC samt en något ökad effektivitet av SNCR-processen. Svaveltillsats bildar en finpartikelmod som synes vara katalytiskt aktiv vilket är en närliggande förklaring till de observerade oxidationseffekterna.

När dosering av svavel enligt chlor-out metoden utvecklades, gjordes motsvarande försök i syfte att undersöka möjligheterna att minska utsläppen av CO, NO_x och NH₃ från biobränsleledade pannor genom tillsats av ammoniumsulfat i förbränningsrummet. Speciellt fokus riktades mot tillsats av ammoniumsulfat i förbränningszonen eftersom det antogs kunna ge en effektivare CO-oxidation relativt dosering i SNCR-zonen. Strategin var att utnyttja denna minskning av CO-halten till att reducera luftöverskottet och därmed minska NO_x-utsläppen. Dosering av ammoniumsulfat till förbränningszonen (till bränsle,

sekundärluft eller tertiärluft) respektive till SNCR-zonen (strax nedströms förbränningszonen) visade sig vara effektiva metoder för att minska CO-utsläppen. Emellertid gav tillsats av sulfat i förbränningszonen generellt en ökning av NO_x-halten i utgående rökgaser, speciellt vid dosering i tertiärluften.

Reduktion av dioxinutsläpp

Dioxinbildning kan motverkas dels med förbränningstekniska åtgärder, dels med sekundära åtgärder såsom aktivt kol i efterföljande rökgasrening. Metoden med aktivt kol används främst i anläggningar med hög dioxinbildning (t.ex. avfallseldning) och har en relativt hög driftkostnad. Metoden kräver också att spärrfilter finns installerat i anläggningen.

I Värmeforskprojektet ”Minskad dioxinbildning med hjälp av additiv vid sameldning av skogsbränsle och returbränsle” [Värmeforsk rapport 928], undersöktes om tillsats av additiv inverkar på bildningen av dioxin. Resultaten visade att svavelinnehållande additiv hade en inhiberande effekt på bildningen av dioxin och klorbensener. Störst effekt gav tillsats av SO₂ med primärluften. Detta minskade bildning med 58 % av dioxin och 73 % av klorbensener. Tillsats av ammoniumsulfat minskade bildningen av dioxin med 41 % och av klorbensener 77 %. Skillnaden mellan svavel och ammoniumsulfat kan bero på att svavel finns tillgängligt tidigare i förbränningsprocessen eller att svavel i form av SO₂ ger en bättre inhibering än svavel i form av SO₃.

2.2 Bränslerelaterade frågor i basprogrammet 2008-2011

Under de senaste programperioderna har forskningen visat att användning av bibränslen och retur- och avfallsbränslen kan ge olika typer av driftsproblem, ofta askrelaterade, men att dessa kan minskas genom samförbränning med andra bränslen (t.ex. torv eller avloppsslam) eller tillförsel av additiv (t.ex. svavel, ammoniumsulfat eller kaolin). Det finns därmed stora möjligheter att minimera driftsproblem genom ett aktivt bränsleval i kombination med tillsats av additiv. För att kunna genomföra en mer aktiv bränsleplanering behövs fortsatt kunskap om olika bränsleströmmar och möjlighet att karakterisera bränslen efter deras egenskaper. Det gäller i synnerhet om behov föreligger av karakterisering av bränslen för att utifrån en anläggnings förutsättningar kunna välja bränsle eller vid nyproduktion välja anläggning efter önskad bränsleflexibilitet. Basprogrammet 2008-2011 bygger vidare på den kunskap och erfarenhet framkommit i tidigare forskningsprogram, vilket beskrivs ovan.

Inom delområdet ”*Bränslerelaterade frågor*” genomfördes 10 projekt under programperioden. Se Tabell 1.

Tabell 1. Projekt inom delområde Bränslerelaterade frågor under programperioden 2008-2011

Table 1. Project on fuel related issues in the programming period 2008-2011

Titel/utförare	Rapport nr
Effekter av fosfortillsats vid förbränning av biomassa /Luleå Tekniska Universitet	1157
Titandioxidadditiv – En effektiv tillsats för att minska alkaliförångning /ETC	1071
Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, etapp 3 /S.E.P.	1167
Sänkt bäddtemperatur vid termokemisk omvandling av svåra bränslen /SP	1140
Ökad elproduktion med halm genom sameldning med trädbränslen /ETC	1162
Bränslehandboken 2012 /Värmeforsk	1234
Förbränningskarakterisering av lignin från cellulosebaserad etanol produktion - Systemanalys för cellulosebaserad etanol i kombinat / SEKAB E-technology AB	1228
Flytande biobränsle för el- och värmeproduktion /Grontmij	1132
Komplettering av Bränslehandboken med bränslerisker /Grontmij	Arbetsrapport 35
Förbränning av stubbar /ÅF-Consult Ltd	Orienteringsrapport 131

2.2.1 Effekter av fosfortillsats vid förbränning av biomassa, rapport 1157

Under de senaste åren har resultat från eldning/sameldning av vissa fosforrika bränslen såsom spannmål och rapsmjöl visat på intressanta möjligheter att använda fosfors höga affinitet till kalium som en möjlighet att binda kalium. Även restprodukter med högt fosforinnehåll t.ex. destillationsrest från spannmålsetanolstillverkning skulle finnas möjlighet att använda som fosforadditiv. I tidigare Värmeforskprojekt har inblandning av rötslam till halm/träpellets vid förbränning i en fluidbädd visat att beläggningar och korrosion såväl som tendenserna till bäddagglomerering reducerades kraftigt [Värmeforskrapport 1037]

En viktig frågeställning är vad det är i dessa additiv/bränslen som ger de goda effekterna avseende beläggningar, korrosion och bäddagglomerering. Om det är fosfor, hur det är bundet i de olika bränslena/additiven och hur detta påverkar möjligheterna att binda kalium?

Målsättning med projektet har varit att bestämma effekten av fosfortillsats via bränsleadditiv/sameldningsbränslen på beläggningsbildningen vid biomassaförbränning. I slutändan är syftet att eventuellt kunna föreslå nya typer av restprodukter/bränsleadditiv med högt fosforinnehåll som tillsatser till problematiska biobränslen för att därigenom skapa möjligheter till introduktion av mer problematiska biobränslen för kraftvärmeproduktion med högt elutbyte och hög drifttillgänglighet.

Resultat

Flertalet tidigare utförda arbeten har visat både på betydelsen av mängden smält material i den finpartikulära fraktionen för beläggningstillväxt och på betydelsen av smälta klorinnehållande alkaliföreningar för klorinducerad högtemperaturkorrosion. Hypotesen som detta arbete har haft som målsättning att pröva är om man genom tillsats av fosforrika bränslen och/eller additiv till typiska biobränslen kan, genom bildandet av kaliumrika fosfater, binda kalium till en större askfraktion i botten-/bäddaskan eller till större mer harmlösa partiklar ($> 1\mu\text{m}$) med relativt höga smälttemperaturer.

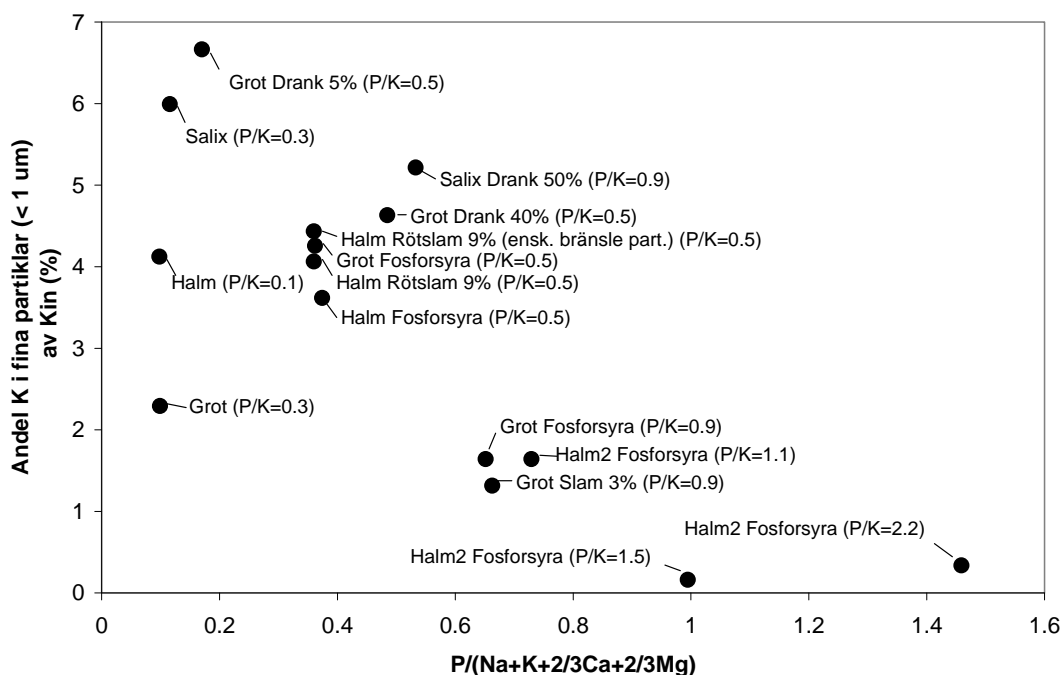
Resultaten visade att en signifikant reduktion av mängden förflyktigad kalium som bildar fina partiklar kunde erhållas vid inblandning av fosforsyra till biobränslena. Dock krävdes ett molförhållande Q , ($Q = P/(K+Na+2/3Ca+2/3Mg)$) i den färdiga bränslemixen på närmare 1. Inblandning av rötslam (3 vikts-% på TS-basis) till grot, vilket motsvarar ett Q i bränslet på ca 0.65, gav också signifikanta effekter. Vid en inblandning på 9 vikts-% av TS av slam i halm (Q ca 0.4) erhöles dock ingen signifikant reduktion. Vid inblandning av det både kalium- och fosforrika drankbränslet erhöles ingen reduktion utan snarare en ökning av mängden bildade K-rika fina partiklar i jämförelse med de rena bränslena.

Den reducerade kaliumavgången till gasfas/fina partiklar berodde vid fosforsyratillsats på att fosfor band kalium till grova askpartiklar som återfanns i cyklonaskan och bottenaskan, främst som Ca-K-rika fosfater. Även fosfor- och kaliumrika askaggregat återfanns i bäddaskan. Vid rötslamtillsats kunde definitiva slutsatser om fosfors roll till de studerade effekterna inte klarläggas. Även klorhalten i de bildade fina partiklarna och

klorkoncentrationerna i de bildade beläggningarna på provsonden reducerades vid inblandning av samtliga studerade sameldningsbränslen/additiv.

De generella resultaten visar att för att erhålla goda kaliumuppbindande effekter med fosfor bör Ca och Mg innehållet i det fosforrika bränslet/additiv som tillförs till bränslemixen vara lågt för att minimera att dessa ämnen tar P från K. Om Ca och Mg innehållet är högt i den slutgiltiga bränslemixen (inkl. både P-bränsle/-additiv + originalbränslet) erhålls en sämre uppbinding av K till P och höga andelar P måste tillföras.

Det behövs troligen inblandningsgrader motsvarande en molkvot $P/(K+Na+2/3Mg+2/3Ca)$ i bränslemixen som närmar sig 1. För att erhålla en molkvot på 1 i ett typiskt halm-, salix- eller grotbränsle innebär det i praktiken en fosfortillsats motsvarande 12, 4.7 respektive 3.7 gram rent P per kg torrt bränsle. Vid användning av exempelvis monoammoniumfosfat skulle detta motsvara en kostnad (hösten 2009) om ca 10-15 (salix), 9-14 (grot) respektive 30-40 (halm) SEK i additivkostnader per MWh tillfört bränsle för att uppnå dessa effekter.



Figur 7. Andelen av totalt tillfört (i bränslet) kalium som återfinns i fina partiklar ($< 1 \mu\text{m}$) vid förbränning av de olika bränslena/bränslemixarna i en fluidbädd (5 kW) mot bränslesammansättning uttryckt som molförhållandet $P/(Na+K+2/3Ca+2/3Mg)$.

Figure 7. Fraction of totally supplied (from the fuel) potassium that were found in the fine particles ($< 1 \mu\text{m}$) during combustion of the different fuels/fuel mixtures in a fluidized bed (5 kW) versus fuel composition given as the molar ratio $P/(Na+K+2/3Ca+2/3Mg)$.

2.2.2 Titandioxidadditiv – En effektiv tillsats för att minska alkaliförångning, rapport 1071

Vid Danmarks Tekniska Universitet (DTU) har man i välkontrollerade labbförsök studerat alkaliförångningen från spånplattor (fiber board). Under detta experiment upptäcktes att endast omkring 10 % av kaliumet hade förångats i förbränningsprocessen vid en förbränningstemperatur av 1150 °C [1]. Motsvarande förångningsgrad av kalium från åkergrödor vid en förbränningstemperatur av 1150 °C var mellan 50-90 % beroende på bränsle. Förklaring till detta fenomen var att kaliumet i bränslet hade reagerat med titandioxiden i spånplattornas färg och bindemedel och bildat en stabil kaliumtitanförening som stannar kvar i bottenaskan och inte förångas under förbränningsprocessen. Om en tillsats av titanoxid till bränslet antingen som additiv eller genom sameldning med ett byggavfall som innehåller titandioxid signifikant skulle kunna minimera förångningen av alkali också under praktiska förhållanden (roster-, fluidbädd- eller pulverförbränning) skulle detta kunna leda till en reducering av askrelaterade driftsproblemen som är kopplade till alkali i rökgaserna.

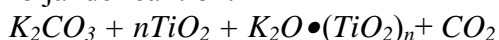
Projektets målsättning har varit att undersöka om en tillsats av titandioxid under praktiska eldningsförhållanden kan minska alkaliförångningen under förbränning av biobränslen samt att bestämma optimal inblandningsgrad.

Titan (Ti) är ett metalliskt grundämne och det nionde vanligaste atomslaget i jordskorpan. Titan används i legeringar inom bland annat flyg- och rymdteknik. Rent titan är en dyr metall eftersom bland annat reningsprocessen är mycket komplicerad. Ett annat alternativ är att samelda ett kaliumrikt bränsle, exempelvis halm eller salix med en avfallsfraktion som innehåller titandioxid. Titandioxid (TiO₂) som används som pigment i målarfärg är däremot en relativt billig förening och det vanligaste materialet i vit bestrykningsfärg, (olja-, alkyd-, latex- och lackfärger). I pappersmassaindustrin har titandioxidföreningar (Na₂O 3TiO₂) redan föreslagits som additiv till svartluten innan förbränning och förgasning för att minska kausticeringsbehovet och därigenom belastningen på brukets mesaugn.

Priset för titandioxiden (fint och rent pulver) varierar mellan 17-20 SEK/kg. För halmpellets där den optimala inblandningsgraden varierade mellan 0.5 till 1.0 (vikt % Ti/K) blir kostnaden för Titantillsats mellan 99-233 SEK/ton halm. Vid jämförelse med kaolin som additiv med motsvarande reduktionsgrad blir 78 SEK/ton halm.

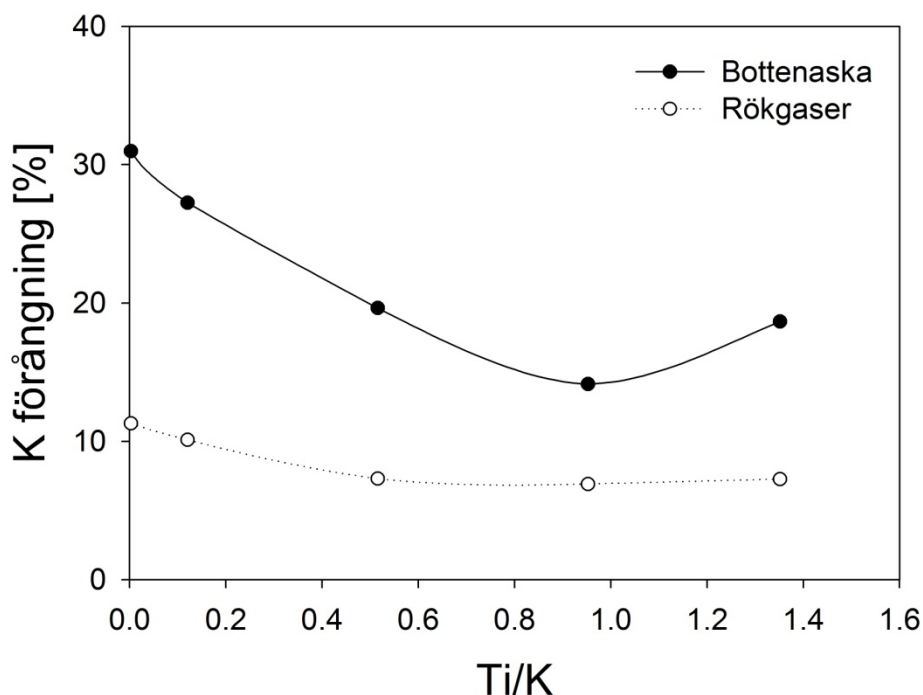
Resultat

När titandioxid tillsätts som additiv minskar helt klart förångningen av kalium från bränslet under förbränningsprocessen. När kaliumkarbonaterna börjar att sönderdelas kan kaliumet reagera med titandioxiden istället för att förångas enligt följande reaktion:



Vid optimal inblandningsgrad reducerades förångningen av kalium med 40-50 %. För halmpelletsen i denna studie motsvarade optimal inblandningsmängd av titandioxid en Ti/K (kg/kg) kvot på ca 0.6-1.0. Vid en ökad inblandningsgrad återfinns oreagerad

titandioxid i bottenaskan. Optimal inblandningsgrad beror troligen inte bara på Ti/K (kg/kg) kvoten eftersom kalium också binds upp av kisel som kaliumsilikater.



Figur 8. Förångningen av kalium som funktion av Ti/K kvoten i bränslet baserat antingen på analysen av bottenaskan eller rökgaserna.

Figure 8. The degree of vaporisation of potassium as a function of the Ti/K ratio in the fuel based on the analysis of the bottom ash or the flue gas.

2.2.3 Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem - etapp 3, rapport 1167

Driftproblem som uppstår till följd av bränslets innehåll av Na, K (alkali) är välkänt. I detta projekt har åtgärder provats, med syftet att ta fram kunskap om hur val av bränsleblandningar, additiv och materialtemperaturer kan lära oss att hantera problemen.

Projektområdet har genomförts i två tidigare etapper under föregående programperioder, där olika strategier för att binda alkali eller få alkali att bilda mindre skadliga föreningar har jämförts. I de tidigare försöken användes en blandning av trä- och halmpellets, ca 75 - 80 % träpellets och 20 - 25 % halmpellets baserat på torrsbstans. Denna bränsleblandning skulle avspegla en trolig framtida bränsleblandning där man samförbränner konventionella biobränslen med agrara bränslen och returbränslen. Man riskerar då att få en bränsleblandning som innehåller höga alkali- och klorhalter

samtidigt som askan har låg smältpunkt. Vid dessa försök testades och jämfördes kaolin, granulärt svavel och ammoniumsulfat samt för första gången även rötslam som additiv. I denna tredje etapp har ett större helhetsgrepp tagits för att försöka få en sammanhängande bild av alkalirelaterade driftproblem. I projektet har studerats hur olika bränsleblandningar inverkar på bäddagglomerering, korrosion och emissioner samt hur problemen kan motverkas med hjälp av additiv och förbränningstekniska åtgärder. Syftet är att sprida kunskap om hur man genom smarta bränsleblandningar, tillsatser av additiv eller alternativt val av materialtemperatur kan minska alkalirelaterade driftproblem.

Bäddagglomerering och additiv

Vid försök i Chalmers panna testades hur olika additiv inverkade på bäddagglomerering. Bränsleblandningarna som testades har varit träpellets, halm, bark och avfallspelletts.

När kaolin tillsattes visade resultaten att dosering till eldstaden motsvarande ett molförhållande av kaolin/(K+Na) på 2, 5 fick man en mycket god effekt av kaolintillsatsen. Med en högre dosering av kaolin såg man en höjning av agglomereringstemperaturen redan efter 2 timmars försök och efter 12 timmars försök var agglomereringstemperaturen över 1100°C. Kaolintillsats medför att kalium binds in som kalium-aluminosilikat i ett lager på bäddpartiklarna. Detta medför höjd agglomereringstemperatur och att mindre kalium övergår till gasfas. Analys av bottenbäddsprover som indikerade att kaolin har en effekt inte bara på bäddmaterialet som cirkulerar utan även minskar bränsleaskans effekt i bottenbädden.

Tillsats av elementärt svavel (svavelgranuler) påverkar bäddmaterialet marginellt. Bildning av gasformig KCl minskas genom att klor trängs undan av svavel, varvid K₂SO₄ bildas. I submikrona partiklar sker en gradvis övergång från KCl till K₂SO₄ när svaveldoseringen ökar.

Tillsats av ammoniumsulfat har ingen inverkan på bäddens agglomereringstemperatur. Klor trängs undan effektivare än med elementärt svavel och kan helt undvikas i formen KCl, vilket innebär att gasfas KCl helt elimineras. Partiklar < 3 µm domineras således av K₂SO₄.

Sameldning med rötat kommunalt avloppsslam visade sig medföra en markant höjning av agglomereringstemperaturen. Genom att studera enskilda sandpartiklar med SEM-EDX kunde noteras att samförbränning med rötslam hade en positiv effekt genom att påverka lagren runt sandpartiklarna både till mängd och sammansättning. Från att lagren bestod av ett inre kaliumsilikatlager plus ett yttre kalciumrikt lager runt sandkornen ändras det vid försöken med rötslamstillsats till ett tunnare lager som i huvudsak är baserat på kalciumföreningar och innehåller andra element ur slamaskan (Al, Fe, P och S). Dosering av rötslam mellan 2 och 6 % av ts gav tydlig minskning av bäddagglomerering. Rötslam som fällts med aluminiumsulfat hade bättre effekt än järnfällt rötslam.

Beläggning, korrosion och additiv

Tidigare forskning har visat att man kan undertrycka alkalikloridbildningen och därmed minska halten klor i beläggning genom att ändra rökgaskemin. Framförallt har mycket forskning kretsat kring svavlets roll. I detta projekt har därför andra additivs inverkan på rökgaskemin och värmeöverförande ytor undersökts. Rökgasanalyser, partikelmätningar och analys av beläggningar visar att tillförsel av rötslam, sulfat och fosfat alla påverkar rökgaskemin, partiklarnas sammansättning samt sammansättning och mängd beläggningar.

Vid försök i tidigare etapper kunde påvisas att tillsats av sulfat i cykloninlopp (ChlorOut-konceptet) och samförbränning med rötslam ger störst effekt på alkalikloridhalter i rökgasen samt klorinnehållet i beläggningar. Samförbränning med rötslam minskade dessutom mängden beläggningar. I denna etapp har visats att fosfor såväl som svavel kan minska bildningen av alkaliklorid. Dosering av sulfat och fosfat som additiv i rökgaskanalen har bägge minskat alkalikloridhalten i rökgas och beläggningar. Detta kan förklara orsaken till att rötslam som innehåller både svavel och fosfor, så effektivt minskar alkaliklorid i beläggningar.

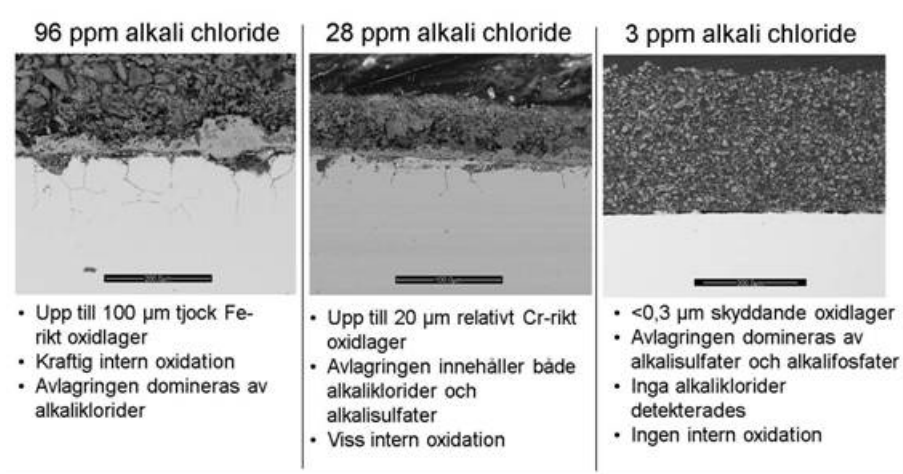
Som nämnts, visar resultaten att svavel och fosfor är viktiga specier för halten alkaliklorid i rökgasen och de också påverkar massandelen klor i beläggningarna. Kalcium har dock stor förmåga att motverka sulfatering och fosfatering, vilket visades av att det krävdes större dosering till kalciumrika bränslen för att nå samma effekt. Detta förklaras även i projekt ”Effekter av fosfortillsats vid förbränning av biomassa” (rapport 1157). I detta projekt tydliggörs att fosfor har större affinitet för kalcium och magnesium som ”tar” fosfor från kalium.

I tidigare projekt har kaolin visat sig ge god effekt på bäddagglomerering. Resultaten från försöken i Chalmers CFB-panna visade att kaolin även hade viss positiv inverkan på beläggningsskiktet, speciellt vid en högre dosering av kaolin. Halten av kaliumklorid minskade i beläggningar, dock inte i samma omfattning som vid tillsats av svavel. Den kemiska analysen av de olika partikelfraktionerna från impaktormätningarna visar att alkali och aluminium återfinns på de större flygaskpartiklarna vilket indikerar att kaolin binder in alkali och bildar aluminium-kisel-kalium föreningar som förs ut ur eldstaden som flygaska. Det kalium som återfanns i beläggningarna var bundet till kaolin eller återfanns som kaliumsulfat.

Korrosionsstudier med exponering av provstavar av två rostfria stål, 304L samt Sanicro 28, vid temperaturerna 600°C, 650°C och 700°C, genomförs för att studera korrosionsförloppet vid olika rökgaskemi när rötslam doseras. Beläggningarnas sammansättning förändras vid rötslamtillsats och vid ökande slamdosering minskar mängden klor i beläggningarna medan mängden svavel och i viss mån även fosfor ökar. Utvärdering av de tempererade provringar som exponerats 24 timmar vid 600, 650 och 700°C visade att det initiala korrosionsangreppet minskar avsevärt ända upp till 700°C vid tillsats av rötslam. Även med ökande yttemperatur minskar totalmängden och halten klorider i avlagringarna. Anledningen är att mängden natrium- och kaliumklorid som kondenserar ut på tuberna minskar vid ökande temperatur. Vid de högsta exponeringstemperaturerna som testats i denna försöksserie (650 och 700 °C) har svavelhalten inte varit odelat positiv. Sulfidering av stålet förekommer vilket gynnar

intern oxidation. Jämfört med exponeringarna utan tillsats av rötslam, där alkalikloridhalterna i beläggningarna är höga, är det totala korrosionsangreppet dock betydligt lägre vid additivtillsats.

Effekten av slamdosering på korrosionen av materialet 304L exponerad 24 timmar vid 600°C i Chalmersspannan där korrosionsfronten från försöken RDF, (referensfall) samt två olika rötslam (SjöMed och HimHög) ses i Figur 9. Det är tydligt att rötat VA-slam som additiv resulterar i en betydligt mildare miljö än i referensfallet. I fallet med den högsta dosering av slam (HimHög) är korrosionsangreppet minimalt och 304L skyddas här av en kromrik oxid som är under 0,3µm i tjocklek. I motsats till den avlagring som bildades i referensfallet (RDF) består avlagringen främst av kalciumsulfat och kaliumkalciumfosfat då slam adderas (HimHög). I frånvaron av alkaliklorid förstörs inte den skyddande oxiden som bildas på 304L och därmed blir korrosionsangreppet minimalt.



Figur 9. SEM bilder av tvärsnitt av 304L efter 24 timmars exponering i Chalmersspannan vid 600°C (A): Körfallet "RDF" (B): Körfallet "SjöMed" (C): Körfallet "HimHög"

Figure 9. SEM images of cross sections of 304L exposed for 24 hours in the Chalmers boiler at 600°C (A): Exposure "RDF" (B): Exposure "SjöMed" (C): Exposure "HimHög"

Utifrån försöken tycks rötslam motverka korrosion genom att både sulfatera och fosfatera kalium, natrium och kalcium. För en kvalitativ bedömning över fosfatsalternans korrosivitet jämfört med KCl, K₂SO₄ samt K₂CO₃ anges korrosiviteten i följande ordning:

Högst korrosivitet

KCl
K₂CO₃

>

K₃PO₄

>

Na₄P₂O₇

>

Lägst korrosivitet

K₂SO₄
Ca₂P₂O₇

2.2.4 Sänkt bäddtemperatur vid termokemisk omvandling av svåra bränslen, rapport 1140

Vid förbränning av avfall och biobränsle begränsas ångtemperaturen i överhettarna av rökgasernas halter av alkalimetaller och klor som ger upphov till kraftiga korrosionsangrepp vid höga materialtemperaturer. Det har följaktligen genom åren genomförts mycket forskning för att förstå och reducera de negativa konsekvenser som följer av höga halter av alkali, klor etc. i bränslet. Det är numera känt att halter och kvoter mellan olika ämnen samt drifttillstånd såsom stökiometri och temperatur är viktiga parametrar för att förklara och förstå de reaktioner som sker.

En metod att minska beläggningar och korrosionsangrepp kan vara att undvika förångning av kritiska komponenter genom att hålla nere temperaturen i den zon fastbränslet förgasas. Detta tillvägagångssätt är relativt oprövat i befintliga anläggningar men det finns idag några pannleverantörer som designar sina FB-pannor för låga bäddtemperatur.

En sammanfattning av hur mycket totalt uppmätta alkalimetallavgången sänkts av en bäddtemperatursänkning från 850°C till 650°C visas i Tabell 2. I tabellen jämförs sammanlagda mängderna av natrium och kalium från två enskilda mätningar av samma bränsle vid samma syrehalt men olika temperaturer. Det är tydligt att temperatureffekten vid pyrolys är mycket stor för alla bränslen och att temperaturen även påtagligt påverkade alkaliavgången från avfallsbränslena vid 5 % O₂.

Tabell 2. Minskning av uppmätt avgången alkalimetall från bränslen när bäddtemperaturen sänkts från 850°C till 650°C

Table 2. Reduction of measured alkali metals (Na+K) released from the fuels when the bed temperature reduced from 850°C till 650°C

	0% O ₂	2,5% O ₂	5% O ₂
Avfall BEM	96 %	-	36 %
Avfall Renova	96 %	-	74 %
Salix	68 %	-	13 %
Halm	98 %	37 %	6 %

Vid temperaturer över 650°C är andelen av alkalimetallerna som avgår under flyktavgången under 10 %. Vid 550°C har alkalimängderna vid flyktavgången minskat i absoluta tal, men samtidigt har mängderna som avgått vid koksförbränningen minskat ännu kraftigare. Detta leder till att av totala alkalimängden som avgår ökar andelen som avgår under flyktavgången vid låga temperaturer.

Reaktorförsök i projektet visade att alkali- och zinkavgången påverkas av både temperatur och atmosfär. Avgångshastigheten ökade generellt med ökad temperatur. De totalt avgångna mängder som integrerats fram visade inte helt entydiga resultat, men överlag var trenden ganska tydlig att ökad temperatur ger ökad avgång. Vid pyrolysförsök (i kvävgas) uppvisade avgången av Na, K och Zn ett kraftigt temperaturberoende för alla de studerade bränslena, särskilt mellan 750 och 850°C. Av dessa resultat att döma verkar det som att pyrolys (och förgasning) helst borde ske vid temperaturer lägre än 850°C för att undvika kraftig alkaliavgång. Det måste givetvis vägas mot att det finns fördelar med en högre temperatur, till exempel minskad mängd tjära.

Vid förbränningsförsöken var temperaturberoendet mindre kraftigt än vid pyrolys. Detta kan bero på att syret påverkar reaktionsförloppet vid förångningen av alkalimetaller, men kan också vara en konsekvens av att temperaturen lokalt i bränslepartikeln kan ha varit högre än bäddtemperaturen vid koksförbränningen.

Sintringsförsöken vid Borås Energi visade en avsevärt större avgång av alkalimetaller från den sand som använts vid en sänkt bäddtemperatur (<750°C) när den värmdes upp. Agglomereringstendensen var också högre för detta bäddmaterial, men temperaturen då påtaglig agglomerering påbörjades var fortfarande ganska hög (ca 1015°C) jämfört med normal bäddtemperatur för pannorna (<880°C).

2.2.5 Ökad elproduktion med halm genom sameldning med träbränslen, rapport 1162

Halm är utbrett som bränsle i Danmark medan användningen i Sverige är fortfarande begränsad. Sett ur ett tillgångsperspektiv finns det en möjlighet att öka användning av halm som bränsle. Eftersom halm är en restprodukt från spannmålsodling har den fördelar gentemot andra åkergrödor, framför allt då den inte konkurrerar om åkermarksareal. Sett ur ett kostnadsperspektiv är priset på halm lägre jämfört med andra biobränslen. Halm är dock ur förbränningsynpunkt ett besvärligt bränsle beroende på sitt höga innehåll av klor-, kalium- och kisel varvid svåra driftstörningar/-kostnader p.g.a. slagning, beläggingsbildning och korrosion ofta är att förvänta vid hög andel halm i bränslet.

Ett flertal arbeten har visat på möjligheterna att minimera uppkomsten av askrelaterade driftsproblem genom att samförbränna olika med träbränslen. Att blanda in bark eller träbränsle i halm har visat sig alltid ha någon form av positiv verkan. Mestadels bestod detta i en mindre sintrad slagg i bottenaskan men även minskad beläggningstillväxt. Baserat på resultaten från både bottenaskans karaktär och beläggingsbildningshastighet så är en lägre inblandning av halm att rekommendera. De askrelaterade driftsproblem som får anses ge upphov till den största begränsningen är beläggingsbildningen, och det är denna som i praktiken reducerar halminblandningsgraden till mellan 15-25 vikt %. Storskaliga pannor som har designats för halm bör med fördel kunna eldas med 50 % trä eller barkinblandning, medan pannor med träbränslen som grunddesign rekommenderas att man börjar med 15-25 % halminblandning beroende på vilket rökgasreningssystem man har.

Danska erfarenheterna visar på att underhållet på en halmeldad anläggning är omfattande. De områden som varit mest utsatt är konvektionsdelar där tuber och värmeväxlarpaket helt sätter igen. Under ett försök med 50 % träinblandning i halm kunde drifttiden förlängas med 3 veckor. Från 1 vecka med halm till ca 4 veckor i samma anläggning. För att förlänga drifttid och undvika stopp varje vecka med halm installerades extra vattensotblåsare i eldstadsväggarna samt vid screen-tuberna. Vidare ökades tvärsnittsarean på askutmatningen i botten och elektrofiltret utrustades med kulstötning samt med slagor och vibrator.

2.2.6 Bränslehandboken 2012, rapport 1234

Bränslehandboken publicerades första gången 2005 och blev snabbt Värmeforsks "bestseller". En engelsk version som innehåller översättning av delar av innehållet publicerades ett år senare.

Innehållet i Bränslehandboken bygger till stor del på den kunskap som tas fram inom Värmeforsks olika projekt och andra offentligt rapporterade projekt. Mycket kunskap kommer dessutom från olika anläggningar runt om i Sverige som använder olika förnybara bränslen i sin produktion. Bränslehandboken 2012 har utökats med ytterligare 9 bränslen/bränslevariationer jämfört med den tidigare versionen. Alla bränslen har uppdaterats med mer data i form av analyser, drifterfarenheter och inte minst ett nytt avsnitt om risker för varje bränsle.

Ett helt nytt kapitel har tillkommit: "Åtgärder för att minimera bränslerelaterade driftproblem". De olika åtgärderna som beskrivs är:

- Samförbränning och "smart" bränslemix
- Tillsats av olika additiv
- Byte av bäddmaterial
- Regenerering av bäddmaterial
- Förändra temperaturprofilen i pannan

En allmän genomgång och uppdatering av lagstiftning, skatter och standarder är också genomförd eftersom dessa uppgifter är att betrakta som "färskvare". Tydligare hänvisningar om var man kan hitta aktuell lagstiftning, nya skatter och standarder finns redovisade.



Figur 10. Lagring av GROT

Figure 10. Storage of forest residues

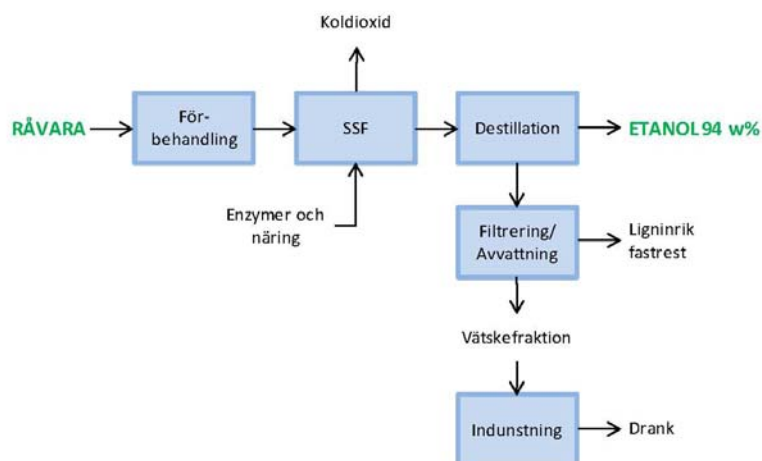
Beräkningsbilaga A har också blivit uppdaterad och är en mycket användbar sammanställning av beräkningsrutiner om hur man beräknar elementarsammansättning och värmevärden, omräkningsrutiner mellan olika enheter för asksammansättning och emissioner, beräkning av luft- och rökgasmängd rökgassammansättning och

rökgassammansättning. Det finns även beräkningsrutiner för bestämning av olika nyckeltal för enskilda bränslen och/eller bränsleblandningar.

2.2.7 Förbränningskaraktärisering av lignin från cellulosebaserad etanolproduktion - Systemanalys för cellulosebaserad etanol i kombinat, rapport 1228

Cellulosebaserad etanol har stor potential för att ersätta fossila drivmedel i motorfordon. Idag är produktionskostnaden för cellulosebaserad etanol alltför hög för att vara konkurrensmässig på marknaden. Kostnaderna för produktion av etanolen är främst råvarukostnaden och kapitalkostnaden, men även intäkterna på biprodukten lignin har betydelse för lönsamheten. Mellan 40 and 45 % av råmaterialet blir en rest av fasta produkter bestående av lignin, icke-hydrolyserad cellulosa samt enzymer och jäst från processen. För att förbättra lönsamheten av cellulosebaserad etanol och därmed kunna bli konkurrensmässig jämfört med fossila fordonsbränslen, måste värdet på biprodukterna öka.

Processen för tillverkning av etanol baseras på biomassa som förbehandlats mekaniskt och kemiskt via ångbehandling med tillsats av en svag syra för att luckra upp cellulosastrukturen inför efterföljande hydrolys med enzym ("enzymatisk process"). Vedens lignin finns kvar som en fast rest i sockerlösningen. I jäsningssteget omvandlas det jäsbara sockret i lösningen till etanol med hjälp av jäst. Etanollösningen förs vidare till destillationssteget där etanolen koncentreras. Ligninresterna avskiljs via bottenströmmen, och förs i sin tur vidare till en centrifug och/eller en kammarfilterpress, där vätska och fast fas separeras. För att reducera vätskehalten i vätskefasen kan denna indunstas ytterligare. Den fasta återstoden kallas drank.



Figur 11. Exempel på processdesign vid etanolproduktion via enzymatisk hydrolys efter [8]

Figure 11. Process design example when producing ethanol through enzymatic hydrolysis [8]

Ett lämpligt användningsområde av det hydrolyserade ligninet, är som bränsleråvara vid kraft- och värmeproduktion. Emellertid, för att använda ligninet som bränsle behövs kunskap om dess egenskaper, speciellt förbränningsegenskaper, men även ur hanteringsperspektiv såsom inmatning eller risk för dammexplosioner. I förbränningssammanhang är karaktärisering av de kemiska egenskaperna såsom askinnehållet, speciellt innehållet av alkali, av central betydelse. Om de askrelaterade driftproblemen är alltför omfattande, och bränslet orsakar allvarliga driftproblem med beläggning och korrosion som följd, minskar värdet av ligninet som bränsle avsevärt.

Projektet syftar till att göra förbränningskaraktärisering av lignin från granved, vetehalm och bagasse. Som referensbränsle används vedpulver och eldningsolja. Förutom ligninet förbränningsegenskaper har även rökgaser och askor analyserats. I studien har karakteriserande förbränningsförsök i pulverbrännare av hydrolyslignin från granved, vetehalm samt bagasse genomförts. Ligninets fysikaliska egenskaper har utretts såsom matningsegenskaper, flammstabilitet och form, samt emissioner i gas och partikelform. I projektet har förbränningsförsök genomförts för att undersöka ligninbränslets askrelaterade driftproblem.

Resultat

Då det enzymatiska lignin från etanolproduktion från cellulosa är som grundmaterial ett väldigt fint pulver som påminner om torv- eller kolpulver är det lämpligt att använda som ersättningsbränsle i träpulver- eller oljeeldade kraft- och/eller värmeverk. Beroende på torkprocess kan ligninet behöva malas innan det matas in i brännaren. Detta är dock relativt enkelt och kräver lite energi. Standardiserad utrustning för lagring och inmatning samt brännare för vedpulver kan användas utan problem. Matningsegenskaperna för de tre ligninbränslena visade sig var bättre jämfört med vedpulver.

Andelen alkalimetaller, främst natrium från neutralisationen, är negativt ur förbränningssynpunkt. Tidigare försök har visat att tvättning kan ge en kraftig reduktion av bland annat alkalimetaller. Det kan vara svårt att förbränna ligninet utan att tvätta bort askbildande ämnen, om det inte finns sotningsutrustning och askhantering installerad. Förbränning av otvättat ligninbränsle i en fluidiserande bädd panna kan vålla vissa problem med sintring i bädden. Koncentrationen av partiklar i rökgaserna efter pannan och avlagringar i form av aska var högre för de tre ligninbränslena jämfört med vedpulver och eldningsolja. Inga klorider fanns i askpartiklarna varför det finns liten risk för högtemperaturkorrosion.

Vid analys av emissionerna av NO och SO₂ uppvisade nivån för NO densamma för de tre ligninbränslena som för eldningsolja men högre än för vedpulver, medan SO₂ var signifikant lägre för de tre ligninbränslena än för eldningsolja men högre än för vedpulver.

Slutsatsen av denna studie visar att ligninet är ett bra bränsle för energiändamål, varför värdet av energin (uttryckt i SEK/MWh) i ligninet kan antas vara högre, jämfört med värdet av energin hos råvaran.

2.2.8 Flytande biobränsle för el- och värmeproduktion, rapport 1132

Under de senaste decennierna har de fossila inslagen för kraft- och värmeproduktion fasats ut till mycket stor del till fördel för biobränslen. Dock så finns fortfarande potential att ersätta fossila olja i spets- och reservanläggningar med klimatvänligare alternativ. Ett sådant alternativ kan under rätt betingelser vara flytande biobränslen. Bioolja och andra flytande biobränslen är inte standardprodukter på samma sätt som mineralolja. Egenskaperna varierar i mycket högre grad än vad de fossila motsvarigheterna gör och därför kan en sammanställning av erfarenheter utgöra ett viktigt underlag för energibranschen när det gäller användandet av bioolja för el- och värmeproduktion. Användningen av biobränslen i el- och värmeproduktion kan bidra till att ge energiföretag en miljöprofil, vilket kan utgöra en konkurrensfördel. När det gäller bioolja är det dock inte entydigt att användningen enbart är positiv ur klimatsynpunkt. Användningen av vissa bioolja kan leda till ökade utsläpp av klimatgaser sett ur ett primärenergiperspektiv, samtidigt som etiska aspekter gör sig gällande. En allmän debatt har förekommit och dessa begrepp behöver redas ut så att medvetna val kan göras.

Vid undersökning av marknaden för bioolja visar studien att det finns en etablerad marknad med leverantörer och köpare för flytande biobränslen. På senare år har användandet av bioolja gått från att vara en pionjärverksamhet till att biooljorna har blivit ett accepterat bränsle. Marknaden är dock fortfarande relativt ung, priset är t.ex. svårt att förutsäga och leverantörernas etableringsgrad varierar. Dagens handel domineras av korta kontrakt och relativt små försäljningsmängder. Mängden tallbecksolja har minskat på marknaden de senare åren och denna trend kan förväntas hålla i sig. Detta beror på ett flertal faktorer som t.ex. att konjunkturläget för den gran- och tallbaserade pappersmassaindustrin är vikande, att råttolja som man utvinnet tallbeckolja från är punktbeskattad med en energiskatt och att ett högt oljepris gör att intern användning av oljan i pappersmassaprocessen blir mer lönsam.

När det gäller etiska aspekter och miljöaspekter kan det konstateras att användningen av oljeväxter såsom oljepalm och soja i biobränsleproduktion är förknippat med många frågetecken (här avses odling med syfte att framställa biobränslen och alltså inte restolja). Spårbarheten om varifrån oljan kommer är mycket viktig för att man ska kunna ha insikt i under vilka lokala förhållanden som grödorna har odlats och vilka miljöeffekter som uppkommer vid odling och produktion, annars blir det omöjligt att kunna påverka genom aktiva val. Som biobränsleproduktion är det mycket tveksamt om användningen av bioolja kan anses vara hållbart, till och med om certifierad olja används. Detta beror dels på att certifieringen enbart rör exporterad olja och dels på att man kan förvänta sig att användningen av bioolja leder till en ökad efterfrågan som kräver att ny mark tas i anspråk, samt att arbetet med certifiering av palmolja och sojaolja mer har varit inriktad på vilka kriterier som ska ingå och inte på själva efterlevnaden av dessa kriterier. För att påverka att fler plantageägare odlar på ett hållbart sätt krävs det att efterfrågan på den certifierade oljan blir stor, helst större än tillgången. Detta speglar tyvärr inte alls dagens efterfrågan.

Användning av restolja kan däremot snarast ses som en resurshushållande åtgärd. Så länge energibranschen inte är villig att betala mer för flytande biobränsle än att det leder

till resurshushållning av i övrigt värdelösa restprodukter får användningen anses vara positiv för miljön och samhället. Men med bakgrund av att det redan idag importeras restprodukter från hela världen för att försäkra ett fåtal användare i Sverige med bioolja tyder det på att tillgången är begränsad. Ur ett samhällsperspektiv bör därför biorestprodukter som kan användas som flytande biobränsle ses som ett nischbränsle för spets- och reservanläggningar där användningen av just flytande bränslen har stora fördelar.

För de tekniska aspekterna av biooljor gäller att alla vegetabiliska oljor måste varmhållas förutom lättoljorna av bästa kvalitet och omrörning i tankar förhindrar stelning, sedimentering, polymerisation och skiktning. Lagring av bioolja i mer än 24 månader rekommenderas inte.

Vid konvertering till bioolja ställs krav på ombyggnader och utrustning då problem som ofta uppstår är igensättningar, korrosion, beläggningar, ökade emissioner, koksbildning samt kalla punkter där oljan stelnat. Behovet av rökgasrening beror på vilken typ av bioolja som används. Exempelvis kan emissioner av stoft och NO_x öka vid en konvertering.

Då biooljornas kvalitet varierar mycket mer än de fossila motsvarigheterna, är det extra viktigt att ha en väl utarbetad kravspecifikation vid inköp av bioolja samt en genomtänkt strategi för kvalitetskontroll. Viktiga egenskaper vid val av bioolja är askhalt, mängden alkali, mängden glycerol, vattenhalt, viskositet och partikelmängd.

2.2.9 Bränslerisker, arbetsrapport 35

Projektet syftade till att komplettera Värmeforsks Bränslehandboken med avseende på bränslespecifika risker och åtgärdsförslag för identifierade risker. I projektet ingick att sammanställa bränslerisker för de bränslen som var identifierade i första upplagan av Bränslehandboken från 2005, samt för ytterligare bränslen i den kommande upplagan. De inkluderade bränslena är följande: träbränslen (spån, flis, pulver, briketter), grot, returträ, salix, bark, lövträd/ädelträ, stubbar, halm, rörflen, hampa, spannmål, spannmålsavrens, olivavfall, kakaoböror, citrusavfall, sheanötter, rötslam, skogsindustriellt slam, gödsel, Papper Trä Plast (PTP), gummidäck, läderspill, kartongrejekt, kött- och benmjöl, flytande animaliska och vegetabiliska restprodukter, tallbecksolja, torv, restprodukter från livsmedelsindustrin, biomal, samt lignin.

Det generella riskavsnittet berör begreppet risk på en allmän nivå. Här redovisas lagar och regler som är av betydelse för riskarbete och allmänna risker och som kan uppstå vid lossning, lagring, bränsleberedning, transporter inom anläggningen, förbränning och askhantering av förnybara bränslen. Underlaget till detta kapitel togs fram genom en kombination av information från litteraturstudier och anläggningsbesök, samt med utgångspunkt från projektgruppens erfarenheter av brand- och riskarbete. Avsnitt med bränslespecifika risker behandlar bränslespecifika risker vid lossning, lagring, bränsleberedning, intern transport, förbränning och askhantering, samt åtgärder som kan reducera riskerna. Risker och åtgärder har studerats genom en omfattande

intervjustudie med personer med erfarenhet av att använda de olika bränslena vid svenska (med något undantag) anläggningar för el- och värmeproduktion. Intervjuerna är kompletterade med exempel hämtade från litteraturen. Texten över risker gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning, utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Rapporten kan användas som ett referensverk när frågor rörande risker i samband med hantering av bränslen utreds. Målgruppen kan till exempel vara anläggningsägare som funderar på att elda nya bränslen i sin anläggning, eller anläggningsägare som planerar för en ny anläggning och behöver information om vilka risker som kan vara viktiga att beakta vid planeringen av anläggningen. Risker för en förbränningsanläggning är anläggningsspecifik.

2.2.10 Förbränning av stubbar, orienteringsrapport 131

EU och Sverige har som mål att aktivt öka användningen av biobränslen för att uppnå det klimatpolitiska målet att minska koldioxidutsläppen. För att aktivt kunna öka biobränsleanvändning behövs nya biobränslen som tidigare inte utnyttjats storskaligt. Skogsrester är ett biobränsle med stor potential för ökad användning. Stubbar är en av många nya förnybara energikällor som än så länge inte har utnyttjats storskaligt i Sverige. Det finns en stor efterfrågan på förnybara energikällor eftersom EU mål strävar efter utökad användning av dessa källor. Kunskapen om dessa bränslen produktionskedjor och förbränningsegenskaper är inte tillfredsställande för tillfället i Sverige.

Finland har länge haft nationella mål att öka biobränslen användning i värme-och kraftproduktionen. Därför har en mängd olika forskningsprogram utförts där man studerat användningen av nya biobränslen. I de olika forskningsprogrammen har man studerat biobränslenas hela transport kedja ända från skördning till förbränning. Forskningsrapporterna erbjuder en värdefull informationskälla, men tyvärr finns rapporterna endast tillgängliga på finska.

Syftet med denna studie är att utnyttja befintliga finska forskningsrapporter gällande stubbförbränning. Studien omfattar hela bränslekedjan från skörd till förbränning. Även drifterfarenheter från kraftverk ingår.

2.3 Minimerad miljöpåverkan

Kväveoxider

Begränsningar av utsläpp av kväveoxider infördes redan i början av 1970-talet pga. problem med fotokemisk smog. Därtill bidrog kväveoxid tillsammans med svaveloxid till försurningen av skog, mark och sjöar. I en utredning från 1972, ansågs trafiken stå för merparten av utsläppen, medan utsläpp från kraftindustrin bedömdes som ringa [7]. Utredningen resulterade i olika förslag på tekniska åtgärder för att minska emissioner av kväveoxider.

På 1980-talet utvecklades inom Värmeforsk metoder för NO_x reduktion genom olika förbränningstekniska åtgärder, bl.a. provades stegvis lufttillförsel. Detta är även idag den mest använda metoden, framförallt i mindre anläggningar där dyr rökgasreningsutrustning inte är kostnadseffektiv.

Med allt strängare krav på NO_x-utsläpp från förbränningsanläggningar och sedermera införandet av "Lagen om miljöavgifter för kväveoxider" (1992) blev det nödvändigt att förse större anläggningar med effektiva metoder för att minska utsläppen. Införandet av miljöavgiften förändrade de ekonomiska förutsättningarna för installation av effektivare men dyrare reningsmetoder. I början av 1990-talet introducerades "selektiv katalytisk rening", SCR respektive "selektiv icke-katalytisk rening", SNCR. SCR-tekniken är intressant tack vare sin höga reduktionsgrad och litet "slip" av ammoniak, medan fördelarna med SNCR är lägre investerings- och driftkostnader samt att tekniken är enkel. I större anläggningar kombineras ibland SNCR med SCR, vilket ger mera lastflexibla lösningar.

Partiklar

Omställning av energisystemet från fossila bränslen till förnybar energi, t.ex. förbränning av biobränslen och vissa avfallsfraktioner har inneburit förhöjda partiklar i luften, speciellt från småskalig biobränsleförbränning. Partiklar i atmosfären har fått ökad uppmärksamhet eftersom epidemiologiska studier har visat på samband mellan negativa hälsoeffekter och ökad koncentration av partiklar i omgivningsluft. Inandningsbara partiklar har i typiska fall en storlek på ca 10 µm (PM10) eller mindre – de största som kan tränga ned i lungorna har en diameter kring 15 µm. Riktigt små partiklar kan finna sin väg ända ut i lungans alveoler. Forskningsstudier har visat att det är mindre partiklar som är de mest hälsovådliga EU-direktiv anger reduceringsmål partiklar under 2,5 mikrometer, PM2.5 (Partiklar (PM2,5) har en diameter på mindre än 2,5 mikrometer).

Det finns flera olika tekniker för avskiljning av stoft i förbränningsanläggningar. I mindre anläggningar sker stoftavskiljningen främst med cykloner och multicykloner. Cykloner är attraktiva p.g.a. enkelhet och lågt pris, men eftersom de utnyttjar tröghetskrafter som avskiljningsprincip kan de endast avskilja partiklar större än ca 1 µm. Cykloner kan användas tillsammans med annan teknik för att kostnadseffektivt nå en hög avskiljningsgrad.

Textila spärrfilter är idag en etablerad teknik som kan ge låga stoftutsläpp, som avskiljer alla partikelstorlekar, men verkningsgraden minskar då storleken minskar.

Elektrostatiska filter kan ge mycket låga emissioner. Avskiljningsgraden för ett elfilter har ett minimum i området 0,1 – 1 µm men kan bli hög även vid dessa storlekar, beroende på filtrets dimensionering. Elfilter är dock inte lämpligt för bränslen med hög resistivitet, exempelvis halm. Våta elfilter har bättre avskiljning för små partiklar, bl.a. därför att spänningen mellan elektroderna kan vara högre. Dessa elfiltret kan även byggas kondenserande, varvid kondensationsvärmets kan tas tillvara.

Rökgaskondensering installeras primärt för att öka anläggningens verkningsgrad, men fungerar i praktiken som stoftrenare, speciellt på mindre anläggningar där reningen annars är begränsad till en cyklon. Bland konventionella rökgaskondensorer och skrubbrar kan venturi-skrubber effektivt avskilja submikrona partiklar. Investering i rökgaskondensering är dyr, men ger en återbetalning i form av energiåtervinning.

2.4 Projekt om minimerad miljöpåverkan i basprogrammet 2008-2011

Nya bränslen innebär nya utmaningar och därmed en del svårigheter med att klara befintliga och kommande utsläppskrav. I takt med att även mindre anläggningar börjar elda nyare biobränslen med högre askhalter ökar behovet av rökgasrening. För större biobränsleeldade anläggningar, 50-100 MW, behöver mer avancerad rökgasreningsteknik utvecklas. Många av de nyare bränslesorterna, men även retur- och avfallsbränslen, innehåller mer aska jämfört med träflis och andra konventionella biobränsle. Det innebär ökade stoftbelastningar på anläggningarnas rökgasrening med risk för förhöjda utsläpp av partiklar. Ökade askhalter innebär också mer restprodukter som måste omhändertas eller återvinnas samtidigt som belastningen av utfasningsämnen som kadmium, bly, arsenik och kvicksilver kan öka i rökgas och i restprodukter. Inom delområdet ”Minimerad miljöpåverkan” har 4 projekt genomförts. Tabell 3.

Tabell 3. Projekt inom delområdet minimerad miljöpåverkan under programperioden 2008-2011.

Table 3. Project on minimized environmental impact in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
SCR i biobränsle- och avfallseldade anläggningar - Erfarenheter från svenska och europeiska anläggningar /Grontmij	1156
Kiselkarbidbaserat sensorsystem för minimering av emissioner i rökgaser /Linköpings Universitet	1233
Skrubberintegrerat vått elektrofilter, WESP /Götaverken Miljö	1206
Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter /IVL	1183

2.4.1 SCR i bibränsle- och avfallseldade anläggningar - Erfarenheter från svenska och europeiska anläggningar, rapport 1156

Rapporten utreder var SCR-tekniken står idag när det gäller tillämpningar med bibränsle- och avfallseldade anläggningar. I Sverige väljs ofta SNCR-teknik, som har en lägre kostnad men också en lägre NO_x-reduktionspotential vid nyinvestering i bibränsleeldade anläggningar och samförbränningsanläggningar, medan man i avfallseldade anläggningar i Europa oftare väljer SCR-teknik.

Utredningen belyser för- och nackdelar med olika typer av SCR-installationer, high-dust kontra tail-end, ”normal” SCR kontra lågtemperatur-SCR, etc. Erfarenheter av katalysatorlivslängd, deaktivering, drift- och underhållsbehov från 18 svenska anläggningar och 14 anläggningar från övriga Europa finns redovisade. Pågående utveckling på SCR-området, såsom nya katalysatormaterial och alternativa placeringar, samt hantering av uttjänta katalysatorer tas också upp.

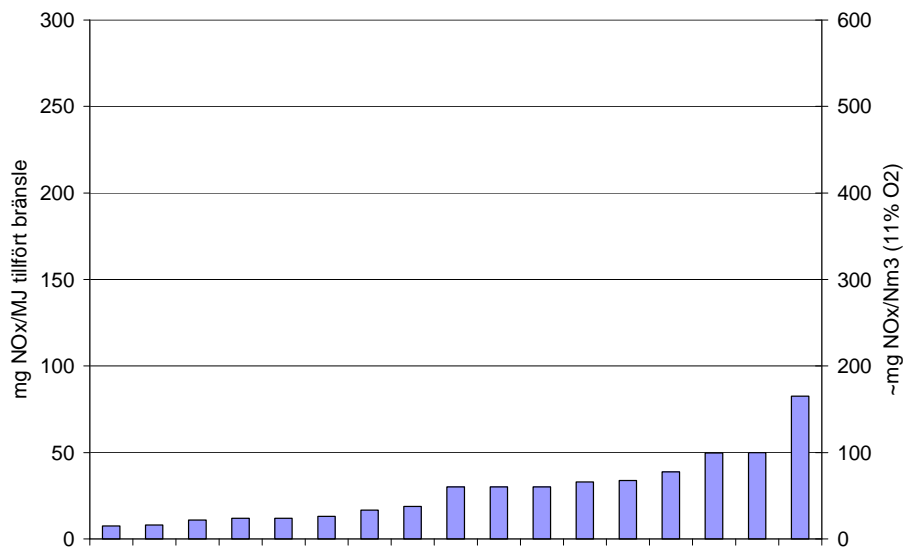
Tail-end SCR är normalt en väl fungerande lösning i såväl bibränsle- som avfallseldade anläggningar. Tail-end är också dominerande bland leverantörernas sammanlagt cirka 150 SCR-referenser på avfallseldade anläggningar. Ett tiotal av SCR-anläggningarna är placerade som high-dust (före stoftrening) eller low-dust (efter stoftrening, men före våt rökgasrening). Enbart ett fåtal referenser på SCR avsedda för bibränsleanläggningar har hittats. Däremot finns ett antal referenser på anläggningar som har konverterats från koleldning till bibränslesamförbränning, samt anläggningar där man har gjort enstaka samförbränningsförsök.

Ekonomi för NO_x-avskiljning har inte undersökts inom ramen för denna utredning. Investeringkostnaden är dock flera gånger högre för en SCR-anläggning än för en SNCR-anläggning, uppskattningsvis 5 M€ att jämföra med cirka 1 M€ för SNCR på en 75 MW panna. SNCR-anläggningen får högre driftkostnader för ammoniak, eftersom den förbrukar 2-3 gånger så mycket som SCR-anläggningen. SCR-anläggningen får i stället högre driftkostnader på grund av energibehovet i rökgasfläktar (100-500 kW el vid en 75 MW anläggning) och vid återuppvärmning av rökgas i fallet med tail-end SCR eller på grund av den korta katalysatorlivslängden i fallet med high-dust SCR.

Hot mot katalysatorns funktion är beläggningar av ammoniumsulfat och ammoniumbisulfat som uppstår i närvaro av SO₃ vid temperaturer under 220°C, även om beläggningarna går att driva av genom tillfällig temperaturhöjning till 320°C. Vidare kan katalysatorn deaktiveras irreversibelt av alkalimetaller t.ex. kalium, men även av klorider, fluorider, fosfater, arsenikföreningar, organiska kiselföreningar och tungmetaller som t.ex. bly. Hos avfallsförbränningsanläggningar medför high-dust stora problem med deaktivering. Hos anläggningar som har slip-SCR är problemen med deaktivering mindre märkbara, eftersom man ofta överdimensionerar i denna applikation.

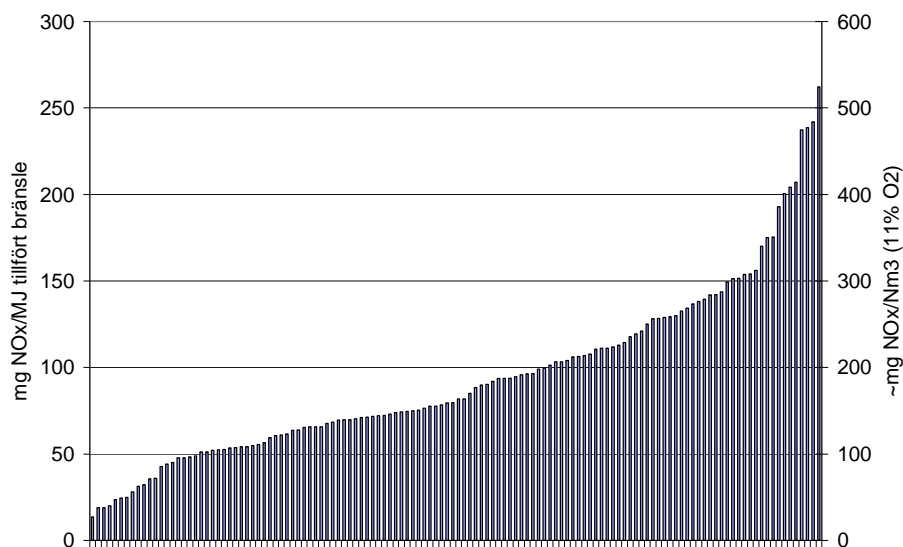
Sammanfattningsvis kan man konstatera att vid NO_x-krav på >80 mg/Nm³ (11% O₂) handlar valet mellan SCR och SNCR oftast om ekonomi, medan det vid <80 mg/Nm³ i

stället är miljökravet som tvingar fram SCR-tekniken. SNCR kan under vissa omständigheter nå nivåer $<80 \text{ mg/Nm}^3$, men det är svårt att få leverantörsgarantier.



Figur 12. NO_x -nivåer i svenska bibränsle- och avfallseldade pannor med SCR 2009

Figure 12. NO_x levels in Swedish biomass and waste fired boilers with SCR 2009



Figur 13. NO_x -nivåer i svenska bibränsle- och avfallseldade pannor med SNCR 2009

Figure 13. NO_x levels in Swedish biomass and waste fired boilers with SNCR 2009

2.4.2 Kiselkarbidbaserat sensorsystem för minimering av emissioner i rökgaser, rapport 1233

Kontroll över förbränningsprocessen är nödvändig för att driva värmepannor på ett ekonomiskt och miljömässigt fördelaktigt sätt. Större anläggningar kan kosta på sig dyra mätinstrument för att kontinuerligt kunna övervaka rökgasens sammansättning. Mindre

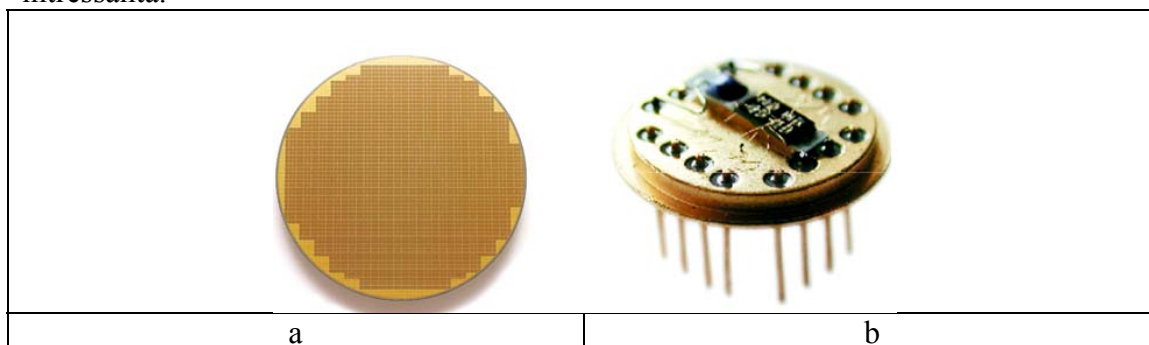
pannor saknar ofta komplett gasanalyssystem och skulle dra nytta av att ha tillgång till billig mätutrustning som kan installeras vid flera punkter längs rökgaskanalen.

Fordonsindustrin har använt lambdasonder för mätning av syrehalter i mer än 30 år och det är en väletablerad teknik, som tillverkas i stora volymer, är enkel att få tag på och är billig. Erfarenheten därifrån har hjälpt till under introduceringen i kraftindustrin. Fordonsindustrin driver utvecklingen framåt när det gäller andra givare såsom för CO, NO_x och NH₃. Kraftindustrin väntas dra nytta av utvecklingen av sådana sensorer för övervakning och styrning av SCR och SNCR i rökgas.

Dagens och framtidens krav angående utsläpp av NO_x och ammoniakslip har lett till forskning och utveckling av sensorer för mätning i rökgas för att kunna övervaka emissioner och utöka indata till styralgoritmer. Vid Linköpings universitet utvecklas sedan många år sensorsystem baserade på kiselkarbid. Sensorerna bygger på en vanlig transistor men med en katalytisk metall som styre. Gaser som reagerar med den katalytiska metallen laddar upp transistorn och ger ett elektriskt fält som ändrar strömmen genom transistorn. Denna rapport beskriver utvärdering av kiselkarbidbaserade transistorer, som tidigare har undersökts som sensorer i dieselavgas och mindre pannors rökgas, i en ny tillämpning i större kraftverk.

Kiselkarbidsensorerna har också testats i projekt för styrning av förbränningen i pannor. Sensorerna visade sig tåla miljön i rökgaser och har använts i rökgassystem under 6 månader utan deaktivering.

Målet i projektet är ta fram ett robust sensorsystem som kan mäta halten ammoniak och kväveoxider kontinuerligt online och under lång tid i rökgaser. Systemet är avsett i första hand för styrning av SNCR i rökgaser men även emissionsmätningar är intressanta.



Figur 14. a Kiselkarbidskiva med potentiellt upp till 2000 transistorchip, här ca 500 st (processing på ACREO, Kista, Stockholm). b. Sensor monterad i kapsel på en värmare tillsammans med en temperatursensor för temperaturkontroll.

Figure 14. a. Silicon carbide wafer with possibly up to 2000 transistor chip, here about 500 (processed at ACREO, Kista, Stockholm). b. Sensor capsule with sensor chip glued onto a heater together with a temperature sensor for temperature control.

Sensorerna mäter NH_3 med en detektionsgräns bättre än 5 ppm NH_3 i labbmiljö och har fungerat tillfredställande med stabil baslinje vid mätning i rökgaser som längst 2 månader.

Sensorerna som har använts i projektet har haft problem med drift, vilket löstes med en ny batch sensorer. Numera körs pannor ofta på lägre syrehalt och högre CO halt vilket påverkar responsen till NH_3 negativt, sensorerna detekterar endast CO halten i denna miljö. Ett nytt sätt att mäta på sensorerna har tagits fram. Den nya mätmetodiken, som i labbet medför att sensorerna mäter NH_3 även i närvaro av upp till 1000 ppm CO, bör optimeras och testas i fältmätningar.

Sensorsystemet antas kunna bli användbart för att styra SNCR i mindre och medelstora pannor och då minska användningen av urea, fortfarande med låga emissioner av NO_x , NH_3 och andra gaser (CO, HC). Möjligen har sensorsystemet också potential att styra SCR i en större panna då det finns möjlighet att bestycka pannan med många sensorer som kan ta hand om fluktuationer i koncentration över rökgaskanalen.

Det är mycket viktigt att kunna göra fältmätningar vid utveckling av ett nytt sensorsystem som i detta projekt. Det är inte möjligt att åstadkomma realistiska förhållanden på sensormätlabbet.

2.4.3 Skrubberintegrerat vått elektrofilter, WESP, rapport 1206

Utveckling av förbättrad stoftavskiljning efter förbränningsanläggningar är en viktig fråga för framtidens hållbara energisystem. Projektet har syftat till att vidareutveckla vått elfilterteknologi för att enklare och mer kostnadseffektivt möta framtidens hårdare utsläppskrav av de mycket hälsofarliga submikrona partiklarna.

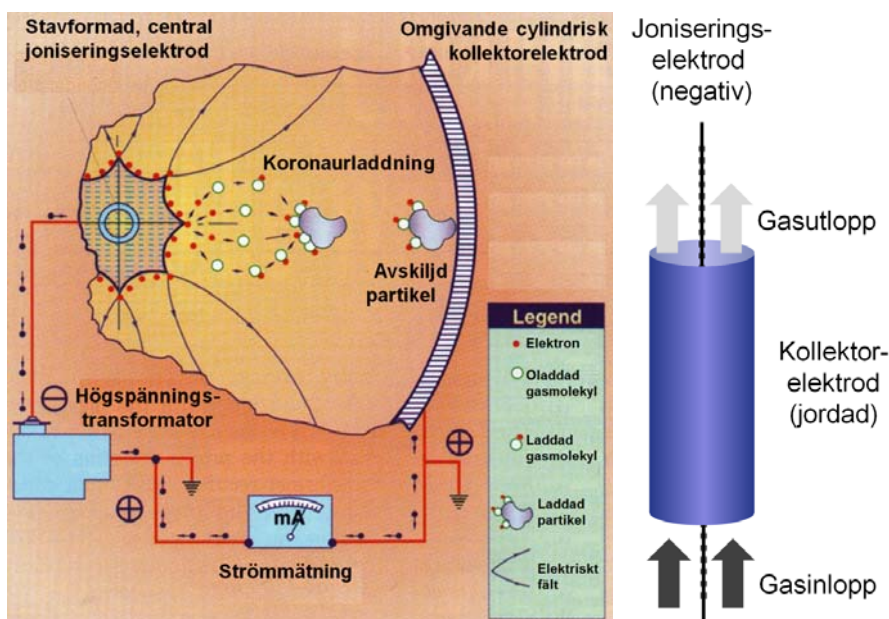
Ett vått skrubberintegrerat elektrofilter (WESP, Wet ElectroStatic Precipitator), installerat av Götaverken Miljö inom ramen för detta projekt, har framgångsrikt demonstrerats i pilotskala vid Renovas Waste-to-Energy anläggning. Partiklarna laddas upp och avskiljs genom att en spänning läggs på en central elektrod i en cylindrisk kollektor. Det unika med piloten är kombinationen av att den är konstruerad i korrosionsbeständig, elektriskt ledande glasfiberarmerad plast (GAP), integrerad i en våt fyllkroppsskrubber, vilket ger jämn gasfördelning i inloppet, samt är utrustad med kondenserande, kyld kollektor och en högfrekvenstransformator för stabil spänningsmatning.

Pilotanläggningen har fungerat mycket väl. Samtidiga totalstoftmätningar uppströms och nedströms WESP-piloten har genomförts. Samtliga rengashalter efter WESP-enheten var under $0,3 \text{ mg/Nm}^3$ (torr gas., 11 % O_2), vilket motsvarar 3 % av gällande emissionsgränsvärde. Avskiljningsgraden har varit bättre än 97 % för samtliga totalstoftmätningar. Medelvärdet för samtliga totalstoftmätningar var $15,2 \text{ mg/Nm}^3$ i ingående halt och $0,14 \text{ mg/Nm}^3$ i utgående halt (båda som tg., 11 % O_2), vilket ger en medelavskiljningsgrad strax över 99 %. Pilotanläggningen har körts dygnet runt under ca 10 veckor. Visuell inspektion av kollektorytorna visar inga tecken på påverkan från driften. Förväntad livslängd hos GAP-materialet i en WESP motsvarar därför den hos andra rökgasreningskomponenter konstruerade i GAP, som t.ex. skrubbrar och kanaler. Halten av medryckta droppar från skrubbersteget har uppmätts med spårämnesteknik.

LiBr tillsattes till skrubbevättskan och filtren från stoftprovtagningen analyserades för en rad grundämnen. Med hjälp av massbalans för Li kunde droppkoncentrationen beräknas till $33 \text{ mg/Nm}^3 \text{ tg. före WESP}$ och $<0,02 \text{ mg/Nm}^3 \text{ tg. efter}$, vilket ger en avskiljningsgrad $>99,9 \%$ för dropparna från skrubbern.

Två elektriska lågtrycksimpaktorer (ELPI, Electric Low Pressure Impactor) har använts uppströms och nedströms WESP-piloten för realtidsmätning av partikelkoncentration och storleksfördelning, som antalet partiklar per volymenhet för olika storleksklasser. En mätmetodik för att provta partiklar i fuktmatad rökgas och låga koncentrationer av partiklar har tagits fram och verifierats i projektet. Med hjälp av ELPI-mätningarna kunde förhållandet mellan ökad partikelavskiljningsgrad och ökande WESP-spänningen bestämmas. I en fullskaleinstallation kan avskiljningsgraden styras genom att variera spänningen och därigenom kan energianvändningen optimeras.

WESP har visat sig vara en väl fungerande metod för slutavskiljning av stoft med hög avskiljningsgrad och låg specifik energiförbrukning jämfört med andra rökgasrenings-tekniker. Tekniken är tillämplig i förbränningsanläggningar för hushållsavfall och torde även vara det för förbränning av farligt avfall, biomassa och för kemisk industri. Projektet har resulterat i en kommersiellt tillgänglig produkt.



Figur 15. Principskiss av WESP bestående av en central joniseringselektrod i en cylindrisk kollektorelektrod sedd uppifrån (t.v.) och från sidan (t.h.). Gasen strömmar mellan joniserings- och kollektorelektroden. (Vänster bild: AWS Corp, Italien).

Figure 15. Sketch of WESP consisting of an ionising electrode in a cylindrical collecting electrode seen from above (left) and from the side (right). The gas flows through the space between ionizing and collecting electrodes. (Left Figure: AWS Corp., Italy)

2.4.4 Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter, rapport 1183

Miljöfaktaboken 2011 innehåller aktuella emissionsfaktorer för de flesta bränslen och energislag som används i Sverige för el- och värmeproduktion samt i fordonsdrift. Miljöfaktaboken är den mest detaljerade sammanställningen av emissionsfaktorer från olika bränslekedjor för svenska förhållanden och beskriver den totala miljöpåverkan från i Sverige vanligt förekommande energislag från hela livs cykeln, det vill säga inkluderande råvaruutvinning, förädling, transport och omvandling.

De bränslen och energislag som ingår i Miljöfaktaboken är träbränslen, returflis, energigrödor, bioolja, avfallsbränslen, fossila bränslen, biodrivmedel, fossila drivmedel, el samt solvärme. Emissionsfaktorerna presenteras per megajoule (MJ) bränsle eller per kWh el (för vattenkraft, vindkraft och kärnkraft).

Syftet med Miljöfaktaboken är att sammanställa och presentera aktuella och generella emissionsfaktorer för bränslen och energislag som används i Sverige för el- och värmeproduktion samt för transporter. De emissionsdata som presenteras i rapporten är uteslutande baserade på en litteraturgranskning där resultat inhämtats från andra rapporter. Inga nya mätningar har utförts. För de flesta energislag har flera olika livscykelanalyser granskats och utvärderats utifrån ett antal uppställda grundläggande kriterier. De grundläggande kriterierna kräver bland annat att data måste vara tillåten att publicera, vara presenterad per emissionsparameter (till exempel koldioxidutsläpp och inte enbart växthusgasutsläpp) samt vara presenterad per energienhet bränsle¹.

Utifrån denna granskning har de mest relevanta livscykelanalyserna valts ut och legat till grund för datasammanställningarna. Speciell omsorg har lagts på att presentera informationen på ett sätt som möjliggör jämförelser mellan olika energislag. Fullständig jämförbarhet kan dock inte erhållas eftersom det oftast finns vissa skillnader i gjorda antaganden mellan olika studier.

Fokus för sammanställningarna är utsläpp till luft vid produktion och distribution av bränslen samt vid omvandling till nyttig energi. Data i form av miljöeffektkategorier presenteras inte eftersom att underlaget i de granskade studierna varierat så mycket att rättvisa jämförelser inte kunnat göras. Övriga miljöaspekter som exempelvis utsläpp till vatten och påverkan på biodiversitet ingår inte.

Totalt har över 70 individuella studier av bränslekedjor granskats i Miljöfaktaboken. Ett avsnitt med grundläggande information om livscykelanalyser har inkluderats som behandlar exempelvis metodiken kring livscykelanalyser, systemgränser, allokering, primärenergi och värmevärdet. Då ett mycket stort urval av studier granskats diskuteras också de osäkerheter som kan vara behäftade med informationen och hur användaren bör förhålla sig till dessa. Datasammanställningarna i Miljöfaktaboken utgörs som tidigare nämnts uteslutande av redan publicerade data vilket också innebär att det tillgängliga dataunderlaget i vissa fall har begränsat urvalet. I förekommande fall har

¹ Eller per kWh el för el från vattenkraft, vindkraft och kärnkraft.

därför tidigare publicerad data använts, eller tillgänglig internationell data. Sådana avvikelser informeras läsaren om.

Som stöd till användaren finns ett kapitel som genom exempel och beräkningar beskriver tillämpning och användning av data. Mer specifikt görs exempelberäkningar för svensk medel, nordisk medel och svenskt fjärrvärmemedel utifrån ett antal angivna antaganden. Som anges i avsnittet är dessa just exempelberäkningar utifrån vissa metodval. Val av exempelvis andra allokeringmetoder kan ge andra resultat.

Miljöfaktaboken omfattar ett stort antal tabeller med emissionsfaktorer för bränslen och energislag. I figuren på nästa sida sammanfattas resultaten för de granskade studierna vad gäller utsläpp av växthusgaser (g CO₂-ekvivalenter per MJ_{bränsle} eller MJ_{el} samt primärenergianvändning (MJ/MJ). Samtliga dataunderlag återfinns i rapporten. El från vindkraft, vattenkraft och kärnkraft anges i rapporten per kWh_{el}, men i figuren nedan anges de i MJ_{el} för att ha samma enhet som övriga energibärare.

2.5 Anläggningskoncept

Efterfrågan på förnybar elproduktion ökar i takt med allt strängare utsläppskrav på koldioxid och andra miljöpåverkande ämnen, samtidigt som elpriserna går i höjden. Elproduktionen från biobränsle och avfallseldade anläggningar är en angelägenhet både för industri och samhälle. Optimering av anläggningar för hög elproduktion är en central forskningsfråga, framförallt för maximal elproduktion under en så stor del av året som möjligt. För att få ekonomi i elproduktionen från biobränslebaserade kraftvärmelanläggningar är den stora utmaningen att finna lösningar för avsättning av värmen, framförallt i ett framtida samhälle där värmebehovet minskar. Systemintegration och utveckling av energikombinat med produktion av el, värme, kyla, biodrivmedel, högvärdiga bränslen m.m. är en del av de möjligheter som står till buds.

Produktionsanläggningar blir alltmer komplexa vilket innebär att kostnaderna för drift och underhåll ökar. Det finns ett ständigt behov av att utveckla teknik som ökar tillgängligheten och verkningsgraden, t.ex. genom effektivisering av anläggningskomponenter/delsystem och genom förbättrad övervakning.

Elproduktion från mindre anläggningar har varit ett mer eller mindre kontinuerligt pågående tema, som nu åter varit på tapeten. Kostnaden är än så länge alltför hög, och enkla standardlösningar behöver utvecklas för att få lönsamhet. Nyttänkande och mer eller mindre beprövade koncept såsom stirlingmotorer och kolvångmaskiner behöver kartläggas utifrån förbränningstekniska och driftstekniska möjligheter till småskalig kraftvärmeproduktion i befintliga såväl som i nya anläggningar.

Anläggningsfrågor

Driftproblem och andra praktiska hanteringsproblem vid energianläggningar är en stor anledning till låg tillgänglighet, speciellt vid användning av bio- och avfallsbränslen. Ett av de större bekymren är de facto att få in bränslet i pannan, dvs. stopp i bränsletillförseln. Direkta hot mot anläggningarna är brand, vilket gäller både i transportsystem och vid lagring. Detta är ett problem som i princip gäller samtliga bio-

och avfallsförbränningsanläggningar. ”Det finns de anläggningar där det har brunnit och så finns det anläggningar där det kommer att brinna”. Förebyggande arbete för att förhindra uppkomsten av bränder är vital för biobränsleeldade anläggningar. Andra områden där det ofta uppstår trassel är kedjedrifter för cellmatar samt ask- och slagghanteringssystem.

Sotning är ett område som orsaker mycket förslitningsskador i anläggningarna. Ökad eldning av retur- och avfallsbränslen har medfört att alltfler pannor har fått problem med avlagringar på värmeöverförande ytor. Nya typer av bränslen och önskemål om att öka verkningsgraden i pannorna ställer högre krav på sotningen. Maximal energiöverföring kräver rena värmeöverförande ytor i förångare, överhettare och ekonomiser. En förbättrad sotning kan också minska korrosion. Emellertid, medför intensifierad sotning även ökad påfrestning på materialen, där skador orsakade av erosion eller ökad korrosion kan bli följderna. De sotningsmetoder som främst ökar materialförlusterna är ång-, vatten och luftsotning. Sotblåsning med ånga är effektivt ur rengöringssynpunkt men har nackdelar såsom användning av primärenergi i form av ånga och ökat rökgasflöde.

Ökad elverkningsgrad

Under senare år har drivkraften ökat för att förbättra anläggningarnas elverkningsgrad genom högre ångdata. På vägen till ökad verkningsgrad finns många hinder att överbygga; korrosion, beläggningar, erosion, begränsat och varierande värmeunderlag, rökgaskondensering, variation i fukthalt, varierande sammansättning i bränslet, tillgänglighet, miljökrav, elpris, värmepris m.m. I praktiken tillkommer även marginaler för att garantera tillgängligheten. Kan marginalerna minskas så kan samtidigt elproduktionen ökas. I dagsläget är det högtemperaturkorrosion som är den i särklass mest begränsande omständigheten. Det är många faktorer som inverkar/samverkar vid uppkomsten av högtemperaturkorrosion, de mest utmärkande är:

- Bränsle (sammansättningen kan variera inom vida gränser)
- Additiv
- Förbränningen
- Pannans utformning
- Aska, påslag
- Materialval
- Sotblåsning

Förutom förbränningstekniska åtgärder som nämns i avsnitt 2.2, kan även anläggningstekniska åtgärder förbättra förutsättningarna för högre verkningsgrad i anläggningen:

- väl omblandat bränsle och förbättrad bränsleinmatning ger en jämnare spridning av bränslet över pannans tvärsnitt
- stabiliserad syrehalt i rökgasen i närheten av värmeöverförande ytor
- minskad rökgastemperaturen i närheten av överhettare
- förbättrade sotningsrutiner eller skydd av värmeväxlare vid sotblåsning
- användning av ytbelagda provpaneler i utsatta delar av eldstaden
- använda mer höglegerade stål till överhettaren

Småskalig kraftvärme

Ökade elpriser och införandet av elcertifikat har under senare år betydligt förbättrat lönsamheten för kraftvärmeproduktion även för mindre biobränsleeldade anläggningar. För att få en låg produktionskostnad i mindre anläggningar krävs det kostnadseffektiva och robusta lösningar. Ett flertal olika koncept har studerats i Värmeforsk, ingen har dock fått något större genomslag på marknaden. Begränsningen ligger i att även om dagens elpriser är jämförbart högre mot tidigare, är egentligen ingen småskalig kraftvärmeproduktion för försäljning av el lönsam oavsett teknik och bränslekombination, speciellt om värdet av värmen minskar.

Nedan beskrivs några olika koncept:

Tekniker för anläggningar med ångturbin, dieselmotor, ottomotor, konventionell gasturbin och ORC, drivna av olika former av biobränsle finns redan kommersiellt idag. För stirlingmotor, gasturbin med HAT-cykel (Humid Air Turbine) och indirekt eldad gasturbin återstår utveckling innan tekniken finns kommersiellt tillgänglig med biobränsle.

En enklare teknik som skulle kunna vara konkurrenskraftig är ett koncept med förgasare i kombination med en ottomotor vilken är billigare jämfört med en konventionell ångturbinprocess. En förgasare med en gasmotor är billigare än en ångkraftsprocess då den specifika kostnaden för en gasmotor är lägre än för en ångturbin vid samma eleffekt samt att kostnaden för ång- och matarvattensystem undviks.

Små ångturbiner, upp till cirka 2 MW, byggs ofta i stora standardiserade serier. Större ångturbiner byggs ofta projektspecifika, vilket ger en väsentlig stegkostnad i detta effektområde. Detta är en av anledningarna till att vissa anläggningar under senare tid byggts med ångturbiner som har varit relativt små i förhållande till panneffekten.

För anläggningar i storleksområdet 15 – 25 MW_{th} har en teknik studerats i Värmeforsk där man kopplar samman två enklare ångturbiner i ett tandemutförande. Med ett sådant koncept skulle småskalig elproduktion kunna skapas med relativt enkel och standardiserad teknik. Tekniken är tillämpbar i såväl nya som befintliga anläggningar oavsett bränsleslag t.ex. biobränsle eller avfall.

ORC-processen bygger på samma komponenter som den konventionella ångkraftprocessen. Det organiska arbetsmediet förångas, får expandera i en turbin eller skruvexpander, kondensera i en kondensator för att sedan pumpas tillbaka till förångaren. Utmärkande för ORC-processen är att det organiska arbetsmediet, genom att det har en högre densitet än vattenånga, möjliggör användandet av en jämförelsevis kompakt turbin. Istället kräver det organiska arbetsmediet större värmeväxlarytor i förångare och kondensator, beroende på sin sämre värmeöverföringsförmåga jämfört med vattenånga.

2.6 Projekt om Anläggningskoncept i basprogrammet 2008-2011

Inom delområdet ”Anläggningskoncept” har 6 projekt genomförts. Tabell 4.

Tabell 4. Projekt inom delområdet anläggningskoncept under programperioden 2008-2011.

Table 4. Project on system concepts in the program period 2008-2011

Titel/utförare	Rapport nr
Optimal elverkningsgrad för bibränsleeldade kraftvärmeverk /Grontmij	1236
Utveckling av mätmetoder för bäddövervakning av fluidbäddar i kraftvärmeverk /Vattenfall R&D	1209
Erfarenhetssammanställning avseende förebyggande av slitage på bränsle- och askhanteringssystem /Vattenfall PC	1203
ORC-fallstudier – elproduktion i bibränsleeldat värmeverk eller från spillvärme i massabruk /Grontmij	1123
Erfarenhetssammanställning från konverterade fluidiseradbädd-pannor inom skogsindustrin /S.E.P.	1181
Kostnad för el från småskalig kraftvärme / Exergetics Energisystemteknik AB	1237

2.6.1 Optimal elverkningsgrad för bibränsleeldade kraftvärmeverk, rapport 1236

Under senare år har de ekonomiska förutsättningarna för investering i kraftvärmeverk förändrats. Idag finns det nya material som möjliggör högre ångdata med bibehållen tillgänglighet. Även de ekonomiska förutsättningarna med höjda el-, värme- och bränslepriser bredvid införande av elcertifikat och intresset för breddning av bränslebasen har förändrat situationen. I takt med ökat intresse för förnybar energiproduktion som bl.a. leder till konkurrens bland värmeföretagen om leverantörernas resurser, har höjda materialpriser och tillverkningskostnader också lett till att såväl investerings- som underhållskostnader har ökat.

Forskning om avancerade ångdata för bibränsleeldade kraftvärmeverk har främst kretsat kring tekniska aspekter på materialval och korrosionsmekanismer utgående från prestanda och ekonomi vid 100 % last vanligtvis sett över enskilda driftår. Det tillhör undantagen att rapporteringen behandlar ekonomiska helhetsperspektiv baserat på lönsamhet över anläggningars hela avskrivningstid.

Projektet har studerat hur valet av ångdata påverkar prestanda och ekonomi för bibränsleeldade kraftvärmeverk med pannor av domtyp och kapaciteter på 30, 80 och 160 MWt vid varierade ångdata och med olika förvärmkonfigurationer. Lönsamheten bedöms utgående från beräknad internränta över anläggningarnas hela avskrivningstid. Därutöver görs en känslighetsanalys baserat på ett antal parametrar.

Det finns tre syften med studien:

- Att utreda och redovisa tekniska prestanda visavi ångdata för biobränsleeldade kraftvärmeverk
- Att utgående från det samlade värdet av el- och värmeproduktion baserat på teknisk/ekonomisk analys utreda och identifiera eventuell förekomst av optimala ångdata
- Att via genomförda beräkningar och analys redovisa underlag som kan användas för värdering av komponent-/systemkostnader förknippade med tekniska förbättringar i befintliga ångprocesser. Teknisk förbättring kan avse införande av bättre material eller designförändringar för anpassning till avancerade ångdata

Målgruppen för projektet är anläggningsägare, leverantörer, forskningsinstitutioner, branschföreträdare, (stödande) myndigheter och andra som ställs inför frågeställningen om vilken lönsamhet som kan påräknas genom höjning av verkningsgraden i biobränsleeldade kraftvärmeverk.

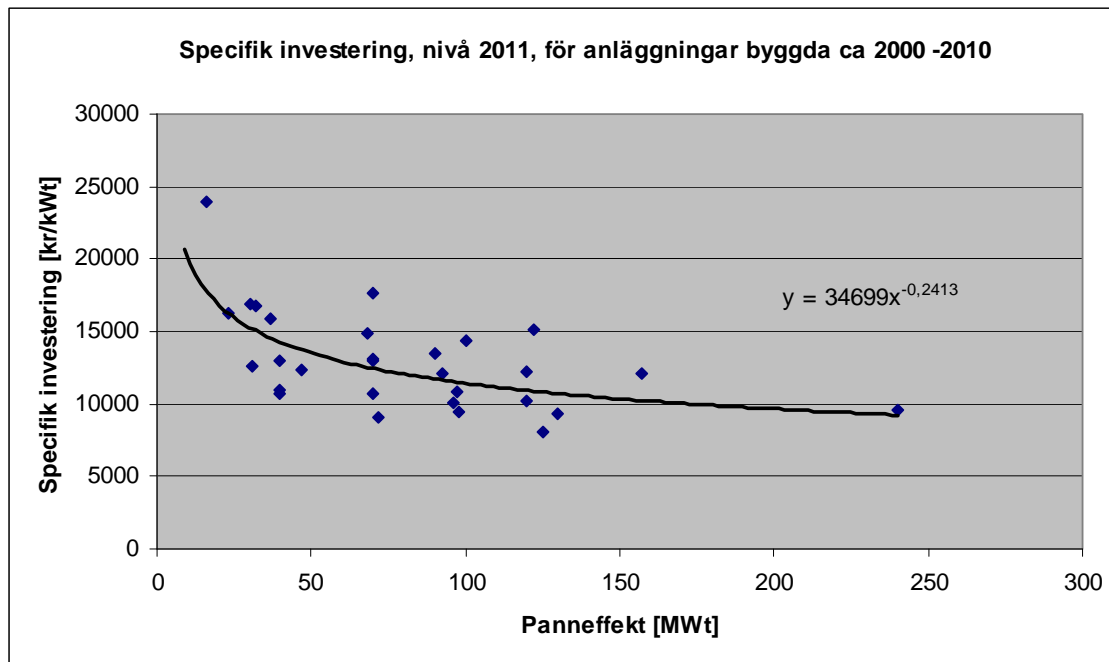
Resultaten från undersökningen kan sammanfattas:

- För den mindre anläggningen på 30 MWt (BFB) indikeras ett svagt optimum omkring 470 °C med givna indata. Det skulle kunna motivera val av ångdata på 92 bar/480 °C eller högre (baserat på känslighetsanalys) om möjligheten till ökande elpris vägs in. Den erhållna internräntan på cirka 2,5 % är otillräcklig ur lönsamhetssynpunkt
- För anläggningen på 80 MWt (CFB) indikeras ett optimum vid 480-490 °C med givna indata. Det skulle kunna motivera val av ångdata på 106 bar/500 °C eller högre (baserat på känslighetsanalys upp till 122 bar/520 °C, där internräntan börjar falla av) om möjligheten till ökande elpris vägs in. Internräntan når upp till knappt 7 % och klassificerar enligt definitionen projekt som lönsamt
- För den stora anläggningen på 160 MWt (CFB) kan ingen optimal ångdata-kombination identifieras i det studerade intervallet där internräntan, med givna indata, faller från cirka 11 till 9 %. Enligt definitionen är projektet (mycket) lönsamt

Svårigheten att identifiera optimala ångdata i den större anläggningen beror på att den del av investeringen som är förknippad med överhettare och kostnaden för byte av dem accelererar mot högre ångdata. Detta undersöktes genom en jämförande beräkning på 80 MWt-pannan. Preliminära beräkningar verifierade att resultaten även gäller 160 MWt-pannan. Trots sandlåsöverhettare som lagts ut för 50 % av slutöverhettningen blir kvarvarande konvektionsöverhettare mycket stor vid höga ångdata. Det är i sin tur en effekt av hög matarvattentemperatur och därmed låg medeltemperaturdifferens över överhettarna. Detta kan åtgärdas genom en större sandlåsövertöverhettare, eventuellt även med överhettare i form av ”wing-walls” placerade i eldstaden. Åtgärderna förväntas leda till en förbättrad och mer gynnsam termodynamisk balans mellan de olika

pannytorna och totalt lägre investering och underhållskostnad. Det väntas också leda till att det blir möjligt att identifiera optimala ångdata för 160 MWt anläggningen.

Generellt kan konstateras att investeringen för bioeldade kraftvärmeverk ligger så högt att kostnadsskillnader i olika ångdataberoende delar och system blir av underordnad betydelse så länge ångdata inte är alltför höga. Det är först med kvalificerade ångdata (och ångcykler) som den högre investeringen kopplad till framför allt överhettare och kostnaden för byte av dessa får ett genomslag i den ekonomiska analysen.



Figur 16. Specifik investering (SEK/kWt) avsatt mot panneffekt (MWt) 2011 års kostnadsnivå för bioeldade KVV byggda 2000-2010/11 (med kurvanpassning och ekvation).

Figure 16. Specific investment (SEK/kWth) versus plant/boiler capacity (MWth) in 2011 level of cost for biofuel fired CHP's erected 2000-2010/11 (with curve fitting and equation).

2.6.2 Utveckling av mätmetoder för bäddövervakning av fluidbäddar i kraftvärmeverk, rapport 1209

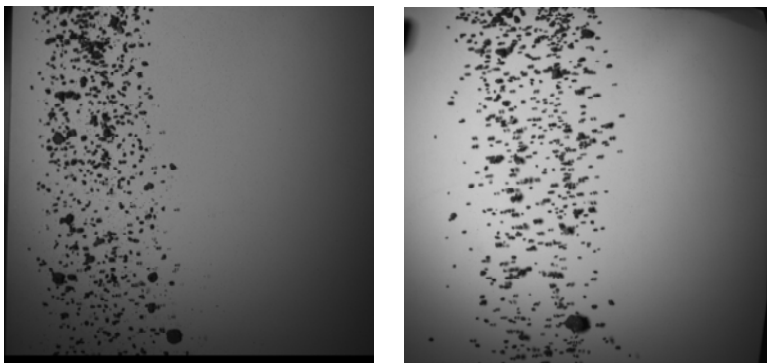
Bäddsintrång i fluidbäddspannor är ett problem som kan leda till stora kostnader i form av utebliven produktion och efterföljande insatsarbete. Tidigare forskning inom området bäddsintrång, påvisar att bildandet av alkalisilikater samt askor med låg smältpunkt är viktiga parametrar i intrångsförloppet. I en tidigare studie på Idbäckens Panna 3, har en förändring i bäddsandens partikelstorleksfördelning observerats dagarna före en intrång av bädden. Vidare studier krävs för att klarlägga om detta är ett återkommande beteende hos bäddsanden.

Målet för detta projekt har varit att utveckla en teknik för övervakning av sintringstendens i fluidbäddar genom att använda en kamerauppställning som kan fotografera fallande sand i bäddsandhanteringssystemet i en fluidbäddspanna.

En kamerauppställning, för fotografering av fallande sand, installerades vid Idbäckens hanteringssystem för bäddsand. Sandprover fotograferades, även stillaliggande i laboratoriemiljö, för att visa bildanalysens potential utan begränsningar i bildkvalitet. En algoritm framtagen av Centrum för bildanalys vid Uppsala Universitet har använts för att analysera partikelstorleksfördelningen i bilderna. Som referens till bildanalysen genomfördes skaksiktanalyser av bäddsanden från april till juni 2011.

Resultaten visar att den kamerauppställning som installerades på Idbäcken, kan leverera bilder med tillräcklig kvalitet. Bildanalys av dessa bilder ger en partikelstorleksfördelning som har en bredare fördelning och en förskjutning åt större storleksfraktioner, jämfört med skaksiktanalys av motsvarande bäddsand. En viss diskrepans mellan bild- och skaksiktanalys är att förvänta, och det finns några identifierade felkällor som kan angripas för att minska skillnaden. Bildanalysen av stillaliggande sand i laboratoriemiljö har även visat en potential på att kunna följa relativa förändringar i bäddsandens partikelstorleksfördelning. Samtidigt uppvisar bildanalysen en liten spridning i resultaten.

Den mätuppställning, med kamera och algoritm, som har utvecklats inom ramen för detta projekt får ses som en prototyp som visar på möjligheterna för bildanalystekniken. Förslag på fortsatt arbete är att optimera framtagen kamerauppställningen och, i ett efterföljande skede, utföra en fast installation för insamling av större bildmaterial för fortsatt utvärdering.



Figur 17. Fallande sand. Kortare slutartid används i bilden till vänster jämfört med bilden till höger.

Figure 17. Falling sand. Shorter exposure time is used in the left picture compared to the right picture.

2.6.3 Erfarenhetssammanställning avseende förebyggande av slitage på bränsle- och askhanteringssystem, rapport 1203

För förbränningsanläggningar är slitage på hanteringssystem för bränsle och askor ett kontinuerligt problem med höga underhållskostnader, driftstörningar och kapacitetsreduktioner som följd. Förekomsten av slitage beror dels på vilken typ av transportsystem som används och dels av typ och kvalitet på bränslet. Även utformningen av kritiska komponenter hos varje transportör och materialval inverkar.

Omkonstruktion och nya materialval kan minska transportsystemens slitage avsevärt, och olika tekniska lösningar till föreliggande problem utarbetas ofta av de personer som arbetar med drift och underhåll på anläggningarna. Varje anläggning har en stor kunskapsbas om de egna systemen. Olika anläggningar brottas ofta med likartade slitagerelaterade problem men erfarenhetsutbytet anläggningar emellan angående möjliga lösningar förekommer inte i tillräcklig omfattning.

Målsättningen med detta projekt har varit att sammanställa ett antal anläggningars erfarenheter gällande olika transportsystem inklusive förekomsten av slitage, erhållna livslängder, servicevänlighet och tekniska lösningar som har provats för att bemästra olika problem. Informationen har främst samlats in genom att genomföra intervjuer med den personal som arbetar direkt med underhåll av aktuella transportsystem. Projektet har involverat totalt 17 anläggningar, både avfalls- och biobränsleeldade (kraft-)värmeverk samt skogsindustriella anläggningar från norr till söder, vilka alla har haft en eller flera fastbränsleeldade pannor. Totalt har bränsle- och askhanteringssystemen på 40 pannor kartlagts.

Rapporten innehåller erfarenhetssammanställning gällande utformning, modifieringar, drift och slitage av bränsle- och asktransportssystem, både för övergripande systemaspekter och på komponentnivå. Informationen har sammanställts och analyserats dels per komponenttyp och dels per anläggningstyp.

Studien bekräftar att bränsle- och askhanteringssystem generellt sett är slitageutsatta och detta uppfattas frekvent som ett problem. Ett antal tekniska lösningar till specifika problem har identifierats och presenteras i rapporten. Ingen biobränsletyp kan statistiskt visas ge överrepresentation av problem. För biobränslen är bandtransportörer och stokermatare mindre problemutsatta än skraptransportörer, skruvtransportörer och skruvmatare.

Materialval för olika komponenter diskuteras och generellt ses en ökad användning av rostfritt stål, främst duplext, vilket framgångsrikt har minskat slitageproblem även där korrosion inte visuellt varit en uppenbar huvudorsak. I vissa fall har slitageproblem kunnat åtgärdas med enkla metoder, som att se till att utrustningen är linjerad och väl förspänd, samt att pålastningen är centrerad. Vanligt förekommande har också varit att omkonstruera utrustning så att slitageutsatta delar, såsom lager, plåtar, bottnar, trumytor, skenor och skruvgångor, lätt kan bytas och därmed inte längre ger upphov till långa driftstopp och höga underhållskostnader. Det är mycket vanligt att slitagerelaterade driftsproblem beror på underdimensionering eller att inneboende robusthet i konstruktionen saknas.



Figur 18. Tjälklumpar som fastnar i bandtransportören för flis.

Figure 18. Frozen lumps of wood chips that get stuck in the belt conveyor.

2.6.4 ORC-fallstudier - elproduktion i biobränsleeldat värmeverk eller från spillvärme i massabruk, rapport 1123

ORC-tekniken (*Organisk Rankine-Cykel*) är ett alternativ för elproduktion i värme-produktionsanläggningar utan ångpannor. ORC-tekniken har traditionellt använts huvudsakligen i geotermistillämpningar, men har under de senaste tio åren blivit aktuell också i mindre bioenergianläggningar med elproduktion. Bland annat i Österrike och Tyskland har ett antal installationer gjorts under 2000-talet. Idag (år 2009) finns cirka 100 biobränslebaserade ORC-anläggningar i drift i Europa och ytterligare ett trettiotal håller på att installeras och drifställas.

I dessa anläggningar drivs ORC-kretsen av rökgaserna från en biobränsleeldad ugn. Ugnen är kopplad till en hetoljepanna som fungerar som en mellankrets och överför energi till ORC-kretsen. ORC-kretsen kyls i sin tur av fjärrvärmenätet. Genom att ORC-kretsen är kopplad till 300°-ig rökgas, och inte som i 1990-talets tillämpningar till spillvärme i form av fjärrvärme eller annat vatten, kan man få ut en elverkningsgrad på nästan 20 % netto i ORC-kretsen. Elverkningsgraden baserat på insatt biobränsle blir 16 % netto. I en tidigare Värmeforskningsprojekt (Värmeforskningsrapport 1021) konstaterades att ORC-tekniken är ekonomiskt fördelaktigare än traditionell teknik med ångpanna och ångturbin i storleksområdet 0,5-2 MW_e.

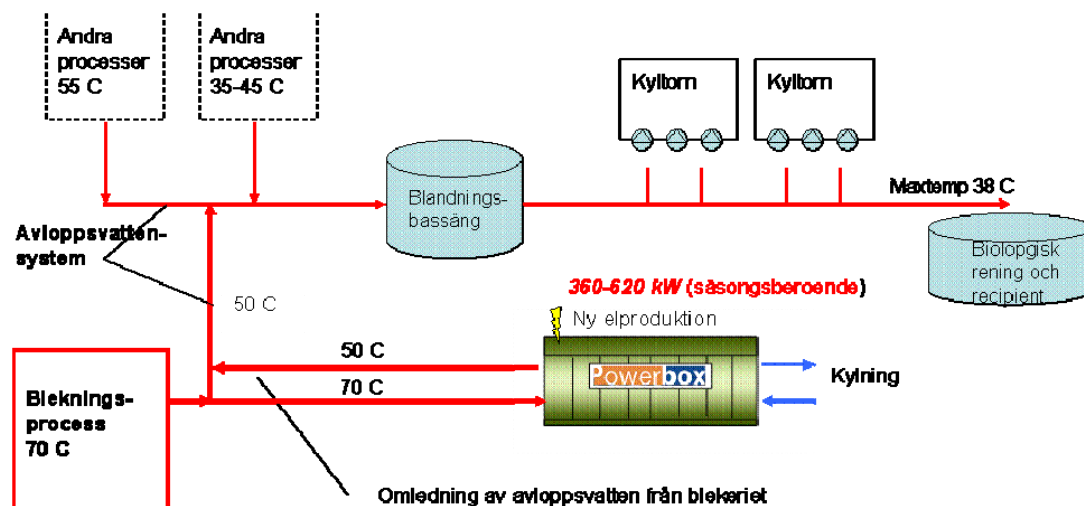
ORC-teknik för utvinning av el ur spillvärme i form av spillvatten har länge diskuterats. Tekniken är enkel och väl beprövad. Det enda som behövs är i princip en ORC-modul med värmekälla och kylkälla samt anslutning till elnät. Ingen hetoljepanna behövs, och normalt kan också billigare värmeväxlar material användas än vad som används i

geotermittillämpingar. På grund av lägre tillgängliga temperaturnivåer i spillvatten, både jämfört med rökgassidiga ORC-tillämpningar och jämfört med geotermittillämpningar, och som resultat därav lägre elverkningsgrader hamnar dock elproduktionskostnaden ungefär på samma nivå som elproduktionskostnaden för bibränsleeldade ORC-anläggningar.

Projektet redovisar elverkningsgrader och kostnader för elproduktion med ORC-teknik baserat på två fallstudier, ett fall med en ORC-modul kopplad till ett bibränsleeldat fjärrvärmeverk (rökgassidig koppling) och ett fall med en ORC-modul kopplad till spillvärme från ett massabruk (vattensidig koppling). En genomgång och diskussion av elproduktionskostnader för de två fallen redovisas också.

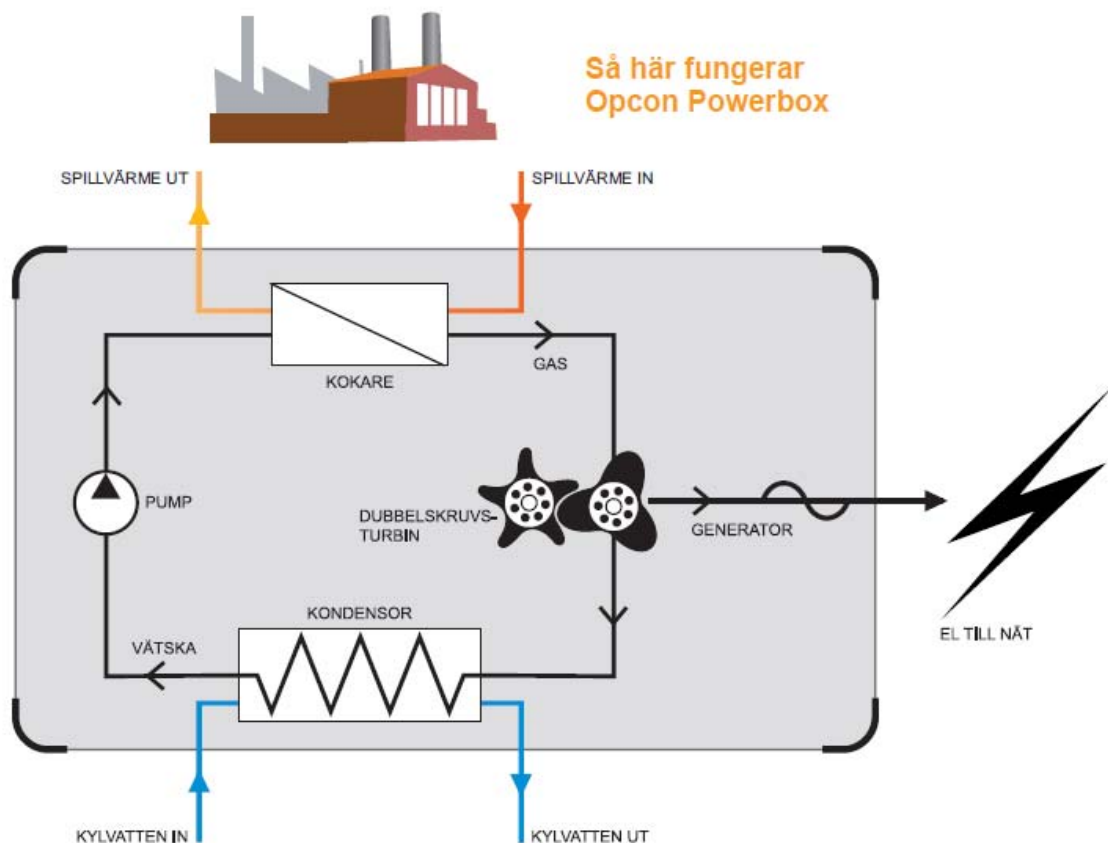
Elproduktionskostnaden för ett 2 MWe bibränsleeldat ORC-kraftvärmeverk med rökgaskondensering beräknades till knappt 90 öre/kWh, med ett bränslepris på 170 kr/MWh och en fjärrvärmekreditering på 30 öre/kWh. Elproduktionskostnaden efter avdrag för intäkter från elcertifikat blir cirka 30 öre/kWh lägre, eller knappt 60 öre/kWh. Någon jämförelse med konventionell bi kraftvärme ingick inte i studien. Kostnaden för konventionell teknik bedöms dock vara cirka 10 % högre för en anläggning i samma storlek som i fallstudien.

Elproduktionskostnaden för en spillvärmebaserad ORC-anläggning beräknades till 30-55 öre/kWh. Om spillvärmen, som i fallstudien, kommer från förnybar energi är den elcertifikatberättigad. Elproduktionskostnaden efter avdrag för intäkter från elcertifikat blir då cirka 30 öre/kWh lägre, det vill säga som högst 20-25 öre/kWh. Om man har tillgång till spillvärme som kan utnyttjas året runt, och som dessutom kommer från förnybar energi så att den är elcertifikatberättigad, kan ORC-tekniken därför vara ett konkurrenskraftigt alternativ för småskalig elproduktion.



Figur 19. Inkoppling av ORC-anläggningen på Skutskärs bruk.

Figure 19. Connection of ORC plant to Skutskär pulp mill.



Figur 20. ORC-processen

Figure 20. The ORC process

2.6.5 Erfarenhetssammanställning från konverterade fluidiseradbäddpannor inom skogsindustrin, rapport 1181

Projektet har sammanställt drifterfarenheter från åtta skogsindustriella pannor som konverterats till BFB-teknik. Konverteringen har i samtliga fall motiverats genom behov av ökad fastbränslekapacitet i takt med stigande oljepris, ett ökat intresse för elproduktion samt önskemål om förbättrade laständringsegenskaper.

De krav rörande driftsäkerhet som ställs på en panna med uppgift att leverera processånga till pappersmaskiner är mycket höga och de undersökta pannorna uppfyller dessa krav mycket väl, vilket visas genom en årlig drifttid på mellan 350 och mer än 360 dygn per år för de pannor som ingår i denna studie.

Samtliga anläggningsägare som deltagit i studien har uppgett att de ser konverteringen till BFB som ett likvärdigt alternativ till att bygga en helt ny panna och att konverteringarna kommer att brukas inom överskådlig tid. Ingen av anläggningsägarna har uppgett att de har någon ny barkpanna i den långsiktiga investeringsplanen.

Vid valet mellan nybyggnation och konvertering av befintlig panna har det sistnämnda visats vara ett kostnadseffektivt sätt att nå ovan nämnda behov, då pannhuset och delar

av den befintliga pannan kan behållas. Konverteringen medför dock även ett mått av konstruktionsmässiga kompromisser, där nya delar skall fungera väl ihop med befintliga. Kompromisser i design och konstruktion kan förväntas påverka både förbränningsprestanda och tillgänglighet negativt jämfört med nybyggnation. Denna rapport visar dock att samtliga anläggningsägare är nöjda med sina ombyggda pannor.

Valet av BFB-teknik motiveras främst av panntypens goda möjligheter att elda fuktiga bränslen och goda laständringsegenskaper. Dessa egenskaper är mycket viktiga för en skogsindustriell barkpanna, då den som regel eldas med bränslen av varierande kvalitet och fukthalt såsom bark och egenfallande slam och dessutom ofta fungerar som topplastpanna med uppgift att hantera kortvariga lastvariationer.

Emissionsmässigt visar sig dessa pannor enligt jämförelse med NO_x-registret vara något bättre än genomsnittet för skogsindustriella pannor och något sämre än genomsnittet för pannor totalt. Analys av data för studerade pannor visar att det finns ett tydligt samband mellan hög eldstadsbelastning och höga emissioner.

Denna studie visar på erfarenheter från ett antal års drift av fastbränslepannor eldade med huvudsakligen bark. Pannorna har den gemensamma nämnaren att samtliga är befintliga pannor som konverterats till BFB-teknik. Studien omfattar åtta barkpannor vid massabruk i Sverige.

Snabba ändringar i last medför svårigheter att hålla emissioner såsom CO och NO_x på en låg nivå. En beräkning visar att NO_x-emissionerna från de studerade pannorna är cirka 0,24 kg/MWh, vilket är något lägre än det skogsindustriella genomsnittet på 0,26 kg/MWh (2008) och något högre än den genomsnittliga pannan totalt som släpper ut 0,20 kg/MWh (2008).

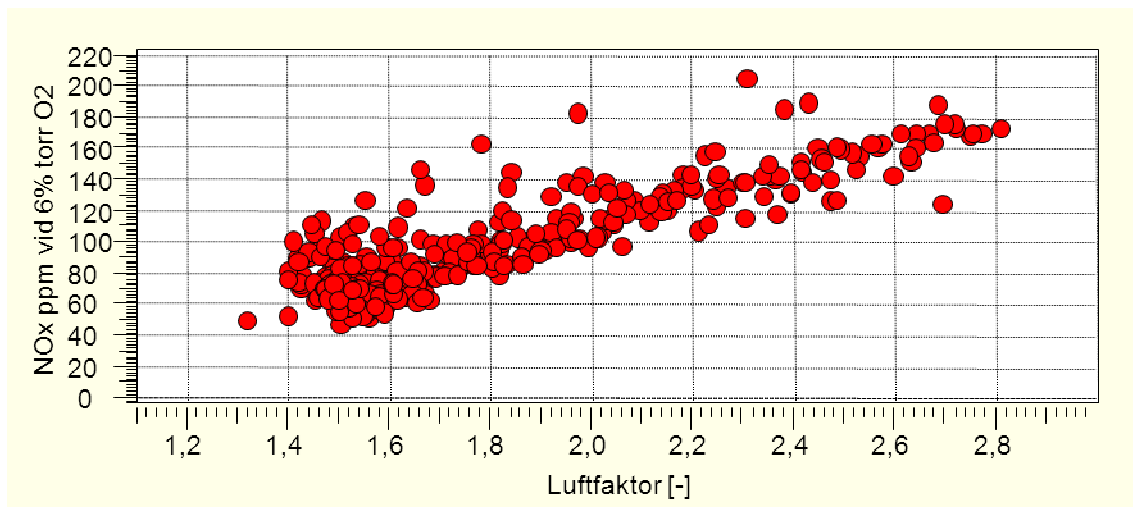
Analys av data för de studerade pannorna visar att eldstadsbelastning har inverkan på emissionerna. De pannor som har eldstadsbelastning lägre än 0,10 MW/m³ visade betydligt lägre CO- och NO_x-emissioner än de med högre eldstadsbelastning. Analysen visade även att sambandet mellan bottenbelastning (MW/m²) och emissioner är mycket svagare än sambandet mellan eldstadsbelastning (MW/m³) och emissioner.

Studien har visat på fåtalet korrosionsskador vid de undersökta pannorna. Då främst på eldstadstuber, rökgasåterföringskanal och primärluftskanal. Erosion orsakad av medryckt material har rapporterats från några anläggningar. En anläggning har även rapporterat om erosion på överhettare orsakad av ångsotning.

Sintring och agglomerering förekommer på några av de studerade anläggningarna, medan andra i det närmaste är helt förskonade från agglomereringsproblematik även efter 40 000-70 000 drifttimmar. Många av sintringarna är bränslerelaterade. Här förekommer sintringar orsakade av allt från lutkontaminerad bark på sulfatmassabruk (rik på natrium) till eldning av fastbränsle med oacceptabelt högt innehåll av jord, grus och sand. Ett exempel på det senare är så kallad städbark.

Flera anläggningsägare har rapporterat att nybörjarfel begåtts, vilket lett till sintringar och agglomereringar. I takt med att driftpersonalen blivit mer erfaren har antalet

incidenter minskat med åren. Bristande kontroll av sandnivån i eldstaden och för låg omsättning av bäddsand är exempel på misstag som orsakat sintringar.



Figur 21. NO_x ppm @ 6 % O_2 tg som funktion av luftfaktor [-] mätt i skorsten Karlsborg

Figure 21. NO_x ppm @ 6 % O_2 tg versus air factor based on oxygen content in the stack, data from Karlsborg paper mill

2.6.6 Kostnad för el från småskalig kraftvärme, rapport 1237

I rapporten presenteras underlag för bedömning av lönsamheten för kraftvärmeproduktion med värmeeffekt 2 – 10 MW under svenska förhållanden presenteras. Data är baserat på en nyligen genomförd kartläggning av teknikläget för ånganläggningar med konventionell turbin eller skruvexpander, anläggningar med organisk ångprocess (ORC), anläggningar med gengasmotor och avgaspanna och anläggningar med externeldad gasturbin. Slutsatsen är att samtliga typer av anläggningar kan ge lägre elproduktionskostnad än kolkondenskraftverk, gaskombikraftverk och kärnkraftverk, om de fasta kostnaderna för den värmeproduktion som ersätts och elcertifikat motsvarande 250 – 300 SEK/MWh(e) kan tillgodoräknas, samt om livslängden för anläggningarna kan förväntas bli upp mot 25 år.

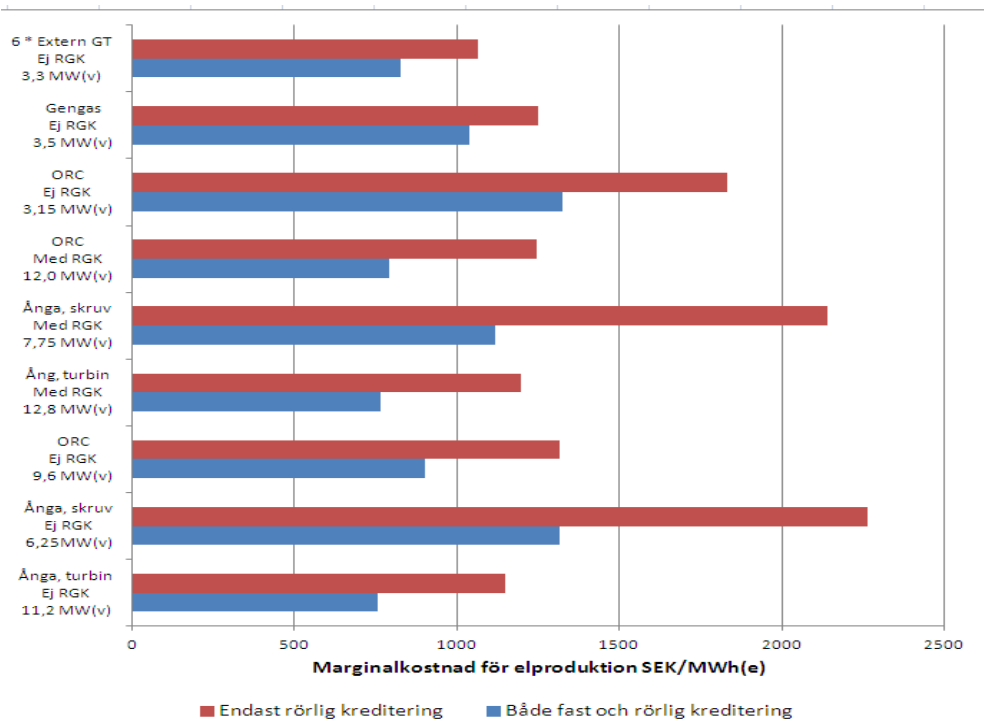
Det finns ett tilltagande intresse för att utnyttja även mindre värmeunderlag för kraftvärmeproduktion. Ökat utnyttjande av småskalig kraftvärmeproduktion med värmeeffekter mellan några hundra kW(v) och 10 MW(v) kommer visserligen inte på något avgörande sätt att påverka strukturen i den svenska elförsörjningen, men småskalig kraftvärme skulle, fullt utnyttjad, kunna ge ett väsentligt bidrag med 2 – 6 TWh(e)/år.

Projektets har klarlagt förutsättningarna för lönsam elproduktion i Sverige i anläggningar med värmeeffekt från 2 till 10 MW. Resultaten av projektet kan underlätta beslut om småskalig kraftvärme skall bedömas som ett realistiskt alternativ i samband

med närvärmeproduktion och värmeproduktion i sågverk och väntas vara till nytta för energiföretag, energiansvariga vid bl.a. sågverk, konsulter och Energimyndigheten. För lönsamhet i förhållande till ny kärnkraft och elproduktion med fossila bränslen måste produktionskostnaden för kraftvärme vara högst 775 – 925 SEK/MWh(e) med elcertifikat på 275 SEK/MWh(e).

Om enbart den rörliga kostnaden för värmeproduktion kan krediteras har de små kraftvärmeverk som studerats här, inga möjligheter att bli lönsamma med de grundförutsättningar som antagits. Om även fasta kostnader kan krediteras blir förutsättningarna gynnsammare, men för att små kraftvärmeverk skall vara intressanta krävs att investeringen för en alternativ värmeanläggning ligger nära den högsta nivå som har antagits som rimlig. Den teknisk-ekonomiska livslängden måste också kunna bedömas uppgå till 25 år. Vid värmeeffekt kring 10 MW(v) skiljer sig elproduktionskostnaderna för konventionell ånganläggning, och organisk ångprocess inte mycket under dessa förutsättningar. Ånganläggning med skruvexpander ger högre kostnader. För anläggningar med c:a 3 MW(v) förefaller organisk ångprocess inte lovande, medan gengasmotor kan vara intressant om den producerade biooljan kan värderas som fossil eldningsolja. Externeldade gasturbiner tycks kunna bli mycket lönsamma, men processen är förknippad med stora tekniska osäkerheter.

Standardisering och serietillverkning av nyckelfärdiga kraftvärmepaket är en förutsättning för att små kraftvärmeverk skall bli mer konkurrenskraftiga. Statligt stöd kan vara en förutsättning för att komma igenom introduktionsfasen när fördelarna med serieproduktion inte kan utnyttjas. Det är angeläget att fullfölja utvecklingen av de nya processer baserade på cyklonförgasning för motordrift och på användning av skruvexpander i ånganläggning, som inletts i Sverige. Möjligheterna att pressa kostnaden för elproduktion i små konventionella ånganläggningar, genom processförenkling och standardisering, bör studeras närmare.



Figur 22. Elproduktionskostnad för små kraftvärmeverk vid utnyttjningstid 8000 timmar/år och grundförutsättningar

Figure 22. Electricity generation cost for small CHP plants operating at full load for 8000 hours/year and base case conditions

2.7 Kunskapsluckor

Inom Anläggning- och förbränningsteknik finns behov av kunskaper inom följande områden:

- Förbättrade dellastegenskaper hos anläggningarna så att de kan köras med högre tillgänglighet, förbättrad verkningsgrad och med acceptabla miljöprestanda.
- Utveckling av askhanteringssystem och utrustning för avskiljning både i funktion och i tillförlitlighet.
- Identifiering och kartläggning av orsaker till driftstörningar och otillgänglighet.
- Robusta lösningar för mindre anläggningar som ökar tillgängligheten och möjliggör att anläggningarna kräver mindre tillsyn efterfrågas.
- Utveckla teknik på komponentnivå och delsystemnivå som kan bidra till högre elverkningsgrad på anläggningar.
- Möjlighet att bredda bränslebasen i befintliga anläggningar med bibehållen miljöprestanda. Utvärdering av förbränningskemi, emissioner, sintring, korrosion för ”nya” bränslen. Erfarenhetsuppföljning från eldning av olika besvärliga bränslen.
- Effektiva och snabba metoder för att karaktärisera och därmed kvalitetssäkra bränslen.
- Studera additivens inverkan på slagning, beläggningar, korrosion och sintring för olika bränsle- och bränslemixar. Till området hör dels att identifiera nya additiv, dels att undersöka bakomliggande mekanismer för additivens inverkan på förbränningskemin.
- Teknik som möjliggör en homogenare bränsleblandning för att minska variationerna i fraktionsstorlek, värmevärde, fukt etc. Förbättring av bränslehanteringsutrustning så att ”nya” bränslen kan blandas, sönderdelas och transporteras på bränsleterminal eller inom anläggningen.
- Förbränningstekniska åtgärder och/eller additiv för att minimera miljöpåverkan då bränsle med lägre kvaliteter eldas.
- Hur kan bränslen med snabba förändringar i fukthalt hanteras på rooster med bibehållen eller förbättrade miljöprestanda?
- Mätning och karaktärisering av submikrona partiklar t.ex. PM 2,5. Ny teknik för att minimera partiklar vid förbränning av askrika bränslen i mindre anläggningar.
- Tillämpbara driftstrategier för att minska emissioner så att hårdare krav avseende CO, TOC, NO_x, SO₂, HCl och Dioxin kan innehållas. Dessa driftstrategier avser både variation i last och bränslesammansättning.
- Effektivare reningsteknik för såväl stoft och kväveoxid som tungmetaller.
- Tekniker/standardkoncept för att reducera emissioner för mindre anläggningar på ett kostnadseffektivt sätt.
- Åtgärder i förbränningsanläggningen som möjliggör renare askfraktioner av högre kvalitet.
- Erfarenheter från katalysatorförgiftning av SCR-teknik för rening av rågas.

2.8 Slutsatser

Teknikområdet har bidragit till att uppfylla 5 av Värmeforsks 9 delmål. Flest antal projekt (10) har utförts inom området *Bränslerelaterade frågor*. Inom de övriga områdena *Anläggningskoncept* och *Minimerad miljöpåverkan* har utförts 6 respektive 4 olika projekt.

I det enskilt största projektet, *Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem*, har olika metoder för att minska risken för bäddagglomerering i en fluidiserad bädd samt risken för bildandet av korrosiva beläggningar demonstrerats vid försök på Chalmers 12 MW forskningspanna. Projektet är exempel på samarbeten mellan universitet och industrin, och som gett intressanta resultat. *Bränslehandboken* har uppdaterats under programperioden och utökats med erfarenheter om *Bränslerisker* samt *Biooljor*.

Miljöfaktaboken innehåller detaljerad sammanställning av emissionsfaktorer från olika bränslekedjor för svenska förhållanden och beskriver den totala miljöpåverkan från i Sverige vanligt förekommande energislag.

Två projekt har behandlat NO_x - avskiljning. Ett kiselkarbidbaserat ammoniaksensorsystem för kontroll av SNCR och SCR har tagits fram. En utredning om utreds var SCR-tekniken står idag när det gäller tillämpningar med biobränsle- och avfallseldade anläggningar har genomförts.

Skrubberintegrerat vått elektrofilter för avskiljning av stoft, är en ny intressant teknik som kan minska energiförbrukningen med 50 %, och samtidigt avskilja submikrona partiklar med hög avskiljningsgrad.

3 Material- och kemiteknik

Material- och kemitekniska frågor har stor betydelse för driftsäkerhet, tillgänglighet och prestanda liksom för teknisk och ekonomisk livslängd hos kraft- och värmeproduktionsanläggningar inklusive skogsindustrins lut- och bibränslepannor. Aktiviteterna inom Värmeforsks material- och kemitekniska forskningsprogram syftar till:

- att öka tillförlitligheten och tillgängligheten i befintliga och nya anläggningar
- att verka för att befintliga anläggningar utvecklas mot bättre prestanda, såväl tekniskt och ekonomiskt som miljömässigt
- att verka för att ny material- och kemiteknik prövas så att nya mer avancerade anläggningar kan utvecklas, t.ex. när det gäller ångdata, bränsleflexibilitet eller ökande miljökrav
- att inom det material- och kemitekniska området verka för en utveckling av ny teknik, bland annat genom att arbeta för att högskolans forskning överförs från laboratorium till tillämpning
- att förstå och utveckla teknik för att uppfylla miljökrav från såväl myndigheter som omgivning
- att skapa nätverk för kunskapsöverföring
- att stimulera intresset för i första hand inhämtande och redovisning av internationella normer och standarder, som tas fram inom ramen för EU-samarbetet och gäller material- och kemiområdet

Material- och kemitekniska frågor förändras i takt med att frågeställningar och problematik i omvärlden växlar. Nya typer av bibränslen och avfallsbränslen ställer andra krav på material i pannor och bränslehanteringsutrustning. Nya och hårdare miljökrav kräver anpassning av material och kemi i reningssystem. Tillgänglighets- och livslängdsfrågor är ständigt aktuella inom material- och kemiteknikområdet.

Fokuseringen på klimatfrågor, exempelvis i form av restriktioner och styrmedel för utsläpp av koldioxid, kommer att få en om möjligt ännu större betydelse under de närmaste åren. Detta leder till ett ökat intresse för nya anläggningar med högre totalverkningsgrad liksom för åtgärder som höjer verkningsgraden i befintliga anläggningar.

Ett varierande och periodvis högt elpris ökar också intresset för anläggningar med högre elverkningsgrad och för åtgärder för att höja verkningsgraden i befintliga anläggningar. Ett gemensamt övergripande mål för KME, HTC och Värmeforsk är t.ex. att det före 2015 ska finnas behövlig kunskap för att kunna köra anläggningar med, i jämförelse med dagens läge, förhöjda ångtemperaturer (600°C i bibränsleeldade pannor, 550°C i returfliseldade pannor, 500°C i pannor för hushållsavfall och 540°C i sodapannor).

Behovet av material- och kemiprojekt har varit stort under tidigare programperioder och fortsätter att vara stort. Värmeforsk är idag ett ensamt forum för att undersöka, utvärdera och utveckla kemitekniken för anläggningar inom både skogsindustrin och energisektorn.

3.1 Bränslerelaterade material- och kemifrågor

Syftet inom huvudområdet för bränslerelaterade material- och kemifrågor är att få kunskap och insikt dels om hur bränsleval och konstruktionslösningarna påverkar material vid användning av nya biobränslen, t.ex. agrara bränslen, avfallsbränslen eller kombinationer som inkluderar även fossila bränslen, och dels om hur kända bränslen i kombination med ökade prestanda, såsom ångdata i pannor och förbränningstemperaturer i gasturbiner, påverkar anläggningars tillgänglighet och livslängd.

Utveckling av konstruktionsmaterial har alltsedan starten varit en av Värmeforsks viktigaste fokusområde. I kraft- och värmeanläggningar har bränsleanvändningen skiftat från att i huvudsak utgöra kol och olja, till att under den senaste 20 åren domineras av bio- och avfallsbränslen. Nya biobränslefraktioner med framför allt besvärligare bränslen, introduceras kontinuerligt. Korrosion, erosion och beläggningar på rökgasberörda ytor är problem som kräver nya lösningar allteftersom alternativa biobränslen introduceras.

Överhettarkorrosion i bioeldade anläggningar uppmärksammades som ett problem i inledningen av 1990-talet. Företeelsen hade tidigare observerats i sodapannor, men branschen togs på sängen då man inte väntat sig att de nyuppförda biobränsleeldade anläggningarna efter endast några driftsäsonger skulle få problem av den omfattning som inträffade. Begreppet överhettarkorrosion förklarades initialt med utgångspunkt från kemi och driftsätt i sodapannor. Studier visade hur lut, föroreningar, ångtemperatur, eldningssätt, konstruktion etc. påverkar korrosionsprocessen och beläggningsbilden hos överhettarna. Tidiga utredningar kunde konstatera att den dominerande faktorn är saltbeläggning som avsätter sig på tuben i förhållande till vad materialet i tuben har för temperatur.

I Värmeforsk har erfarenheter visat att koleldade pannor med höga ångtemperaturer i kombination med billiga ferritiska lågkromstål 18Cr-8Ni inte var så bra ur korrosionssynpunkt. Vid konvertering av dessa pannor till biobränsle var det uppenbart att de konventionella stålen inte räckte till för biobränsleeldade pannor.

Mycket forskning har investerats för att finna tåligare material i framförallt överhettarna. Inledande materialprovningar visade att de ferritiska stålen 13CrMo44 och X20 med uppvisade högst materialförlust. Därefter kom de austenitiska stålen 3R12 och 3RE28 och eventuellt också Fe-Cr-Ni-legeringen Sanicro 28. Bäst var nickelbaslegeringarna Alloy 625 och Sanicro 65.

Allteftersom nya material tas fram och förbränningstekniska åtgärder utvecklas, flyttas målet mot nya utmaningar. Målbilden fram till 2015 är det ska finnas behövlig kunskap för att kunna köra anläggningar med, i jämförelse med dagens läge, förhöjda ångtemperaturer. För pannor eldade med biobränsle är målet att kunna höja den utgående ångtemperaturen till 600°C. För returflis (RT-flis) är motsvarande mål 550°C, för avfallspannor siktar man mot 500°C och målet för sodapannor är att uppnå en utgående ångtemperatur på 540°C.

Inom delområdet ”Bränslerelaterade material- och kemifrågor” har 11 projekt genomförts.

Tabell 5. Projekt om bränslerelaterade material- och kemifrågor under programperioden 2008-2011.

Table 5. Project on fuel-related material and chemistry issues in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
Åtgärder mot eldstadskorrosion på pannrör - etapp 2 /Swerea KIMAB	1168
Förutsättning för sänkning av rökgastemperatur / Swerea KIMAB	1230
Korrosion hos luftförvärmare och ekonomisar / Swerea KIMAB	1235
On-line mätning av korrosionshastigheter i pannrör vid användning av anpassat EMAT (HT-EMAT) - Fas 1 & 2 /SydTek AB	1119 1189
Kalibrering av elektrokemisk korrosionssond i laboratoriemiljö och verifiering med fältförsök /Vattenfall Power Consultant AB	1210
Långtidsprovning av tubskyddsmaterial, etapp 2 / Vattenfall Power Consultant AB	1215
Kartläggning av rökgaskondenseringsanläggningar med avseende på korrosionsrisker, biobränslekvalitet, teknik och materialval /Stenqvist Installed HB	1220
Material för högre ångtemperaturer (upp till 600 °C) i bio- och avfallseldade anläggningar /Vattenfall Research and Development	1174
Förhöjd prestanda vid kraft- och värmeproduktion – State-of-the-art i materialutveckling /Inspecta Technology AB	1188
Inverkan på livslängden hos gasturbinkomponenter vid förekomst av H ₂ S i drivmedel /Siemens Industrial Turbomachinery AB	1238

3.1.1 Åtgärder mot eldstadskorrosion på pannrör - etapp 2, rapport 1168

Projektet är en fortsättning av ett tidigare Värmeforskprojekt rörande eldstadskorrosion som omfattade en litteraturstudie, en erfarenhetsinventering och experimentell studie under en driftsäsong av sex olika påsvetsmaterial och ett compoundmaterial i fem olika pannor. I en andra etapp följs försöksmaterialen i tre av pannorna upp under ytterligare två driftsäsonger (övriga två har lagt termiska sprutskikt på sina försökspaneler).

Under den första etappen uppstod med ett undantag ingen nämnvärd korrosion. I det undantagna fallet, där hushållsavfall och industriavfall användes som bränslen, var dock korrosionen kraftig. De analyserade korrosionsprodukterna uppvisade stora och lokala variationer.

Utöver att kartlägga den observerade korrosionen och att följa upp den erfarenhetsinventering som utfördes i den första etappen med de senare årens erfarenheter undersöktes möjligheterna att kunna fastställa och rangordna försöksmaterialens korrosionsmotstånd med avseende på olika typer av panna, driftdata och bränsletyper genom att på ett likadant sätt som tidigare studera provuttag av provmaterialen i de olika pannorna.

Möjligheter och begränsningar rörande mätningar med skiktjockleksmätare på påsvetsgods studerades och resulterande i en rekommendation.



Figur 23. Elcometer 456 skiktjockleksmätare med standardsökare

Figure 23. Elcometer 456 coating thickness gauge with a standard probe

Tre metoder för skydd mot korrosion i avfalls- och bioeldade pannor studerades närmare:

- inblandning av keramiska beståndsdelar i pulverblandningar tillsammans med Ni-bas.
- Flamspruta med tjockt skick av Ni-bas med relativt stora mängder B och Mo.
- Komposit med Ni-bas närmast substratet.

Resultaten visar att Alloy 625 var det bästa allroundmaterialet i två avfallspannor och en torveldad panna. Alloy 625mod fungerade bäst i oxiderande miljö. Alloy 22 och Alloy 59 hade sämre korrosionsmotstånd än Alloy 625 och är dessutom dyrare. Alloy 650, den billigaste Ni-basen, korroderade betydligt mer än de andra. Det austenitiska stålet 310 klarade sig bra i den torveldade pannan men räckte inte till i avfallspannan.

3.1.2 Förutsättning för sänkning av rökgastemperatur, rapport 1230

För att undvika kondenskorrosion håller många anläggningar rökgastemperaturen med marginal ovanför den faktiska daggpunkten, med förlust i verkningsgrad som följd.

Kunskapen om orsak och förlopp av korrosion inom lågtemperaturområdet är begränsad, även om man vet att lågtemperaturkorrosion uteblir om temperaturen på anläggningsytan ligger över daggpunktstemperaturen (TDP). Den uppfattning som anläggningsägare har av värdet på TDP är dock ofta dåligt underbyggd, och en bättre kännedom om värdet på TDP skulle möjliggöra en förbättring av anläggningens verkningsgrad utan att samtidigt riskera lågtemperaturkorrosion.

En daggpunktsmätare och en så kallad kondensatprovtagare har utvecklats, där sistnämnda är en utrustning för att skapa det kondensat som kan uppkomma ur en anläggnings rökgasmiljö då daggpunkten underskrids. Dessa utrustningar ska ge en bild

av TDP och kondensatbildning inom lågtemperaturområdet för anläggningar eldade med bibränsle, RT-flis och avfall.



Figur 24. Daggpunktsmätare ansluten till en rökgaskanal

Figure 24. Dew point meter connected to a flue gas

Utrustningarna utnyttjades på Högdalenverket (avfall 100%), Idbäcksverket (RT-flis 100%) och Jordbro värmeverk ("jungfruligt" träpulver 100%).

Daggpunktsmätaren gav både reproducerbara och rimliga resultat, och kondensatprovtagaren gav också rimliga resultat. Dessutom kunde daggpunktstemperaturen fastställas på endast några minuter. För kondensatprovtagaren visade sig dock sedan tidigare kända brister, i form av svårigheter att få fram kondensat för temperaturer nära under daggpunkten, inte kunna övervinnas.

Innehållet av klorider i kondensaten från Högdalenverkets och Idbäcksverkets innebär att man för att undvika gropfrätning behöver använda titan. För Jordbros skulle däremot 316L kunna vara tillräckligt motståndskraftig både mot gropfrätning och spaltkorrosion. En omfattande och teoretiskt ingående beskrivning om förutsättningarna för uppkomst av daggpunktskorrosion ingår.

3.1.3 Korrosion hos luftfövärmare och ekonomisar, rapport 1235

Förbränningsanläggningar i Sverige utsätts för stora påfrestningar avseende lågtemperaturkorrosion, och skadefall med anledning av lågtemperaturkorrosion

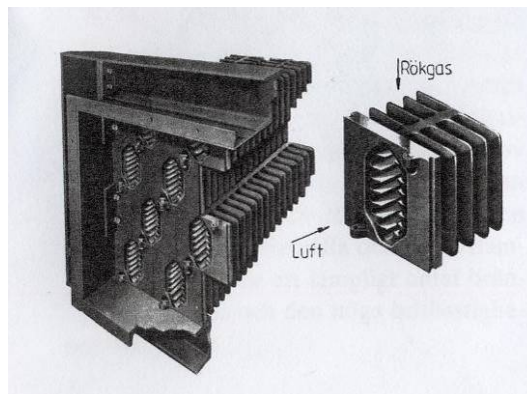
uppkommer regelbundet. Framförallt vanligt förekommande är korrosionsproblemen hos luftförvärmare och ekonomisar.

Då de 30 utvalda anläggningarna har flera pannor och oftast har fler än en ekonomiser och luftförvärmare innebar det att erfarenhetsinsamlingen omfattar totalt 89 ekonomisar och luftförvärmare. Intervjuerna omfattade frågor om ekonomisar och luftförvärmare och inkluderade även frågor om andra problem på anläggningen. De mest intressanta av dessa uppgifter redovisas i rapporten.

Mycket information finns att tillgå i rapporten, men en av de mest framträdande uppfattningarna är att om man håller sig över dagpunktstemperaturen på värmeväxlarens yta så undviker man åtminstone korrosion.

Problemet med erosion kommer man dock inte ifrån genom att ligga över dagpunktstemperaturen. Här kan konstateras att slätrörsvärmeväxlare minskar igensättningsproblem med påföljande förhöjd erosion. Andra framgångsrika metoder för att minska erosionseffekter på ekonomisar är att installera sothyllor och att ha plåtar ut från kanalvägg för att bryta av rökgasflödet över de mer känsliga vändtuberna. Ytterligare metoder är att minska askmängden genom cykloner eller andra typer av askfällor.

Denna sammanställning av erfarenheter, kompletterad med en litteraturgranskning, förväntas ge anläggningsägare och anläggningskonstruktörer ett betydelsefullt redskap i att förebygga korrosion på rökgassidan hos luftförvärmare och ekonomisar.



Figur 25. Luftförvärmare med flänsade rör

Figure 25. Air preheater with flanged tubes

3.1.4 On-line mätning av korrosionshastigheter i panntuber vid användning av anpassat EMAT (HT-EMAT) - Fas 1 och 2, rapport 1119, samt 1189

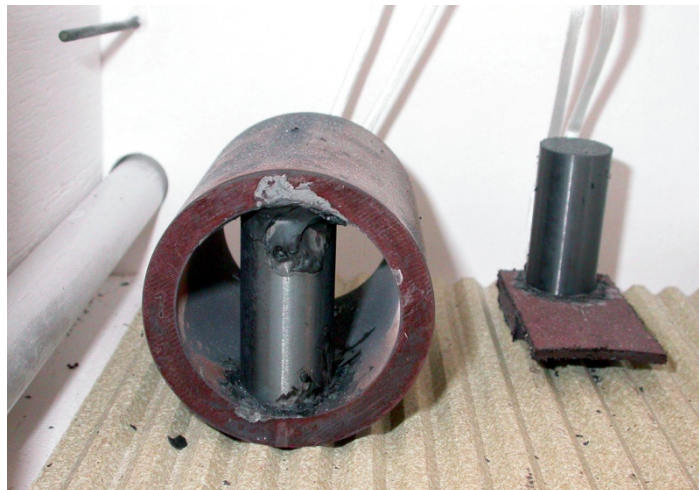
Projekt omfattar utveckling av en prototyp för HT-EMAT (*High Temperature Electro Magnetic Acoustic Transducers*) sonder för mätning av tubtjocklek on-line. Vidare görs provning i av dessa i höga temperaturer i labmiljö och kan ses som en fristående fortsättning till det tidigare "EMAT-projektet" och "Non-contact measurement of remaining thickness of corroding superheater tubes". (Värmeforsk rapporter 981 och 1026.)

Instrumentet, EMAT (HT-EMAT) ska tillverkas i material som under lång tid förväntas kunna motstå temperaturer upp till 550 °C. Vid mätning placeras instrumentet inuti en skyddad tub med konstgjord film/beläggning på insidan av tuben. Tester ska göras både under statiska temperaturer vid 20, 450 och 550°C, samt under dynamiska temperaturförhållanden mellan 20 och 500 °C.

Prototyp HT-EMATen behöver endast kalibreras vid rumstemperatur, vilket är en enkel procedur. Om man tar hänsyn till temperaturens inverkan på ljudhastigheten, ger prototypsonden tillförlitliga mätresultaten upp till 550°C.

Prototypen fungerar bra i miljöer upp till 550 °C både i långtidsförsök och i dynamiska försök. Vid högre temperaturer så försvinner magnetorestriktionen för magnetit och den högsta temperaturen verkar vara vid 575 °C.

För att den skall fungera så behöver prototyp HT-EMAT kalibreras i rumstemperatur och med lämplig kalibrering av ljudhastigheten vid olika temperaturer så fungerar det upp till 550 °C.



Figur 26. Prototyp HT-EMAT till vänster och referens HT-EMAT till höger

Figure 26. The prototype HT-EMAT seen to the left and the reference experimental HT-EMAT seen to the right

Spolen och trådarna som förbinder i anläggningen måste ha hög elektrisk ledningsförmåga för att minska dämpningen, ren koppar och finsilver är bra kandidater till HT-EMAT trådar. Tekniken för att lägga på magnetorestriktivt skikt på stálytor har lösts där magnetit verkar vara det enda användbara materialet som använts hittills.

Tunna skikt kan göras med värmebehandling under lång tid, tjockare skikt kan göras med termisk sprutning.

Följande slutsatser kan dras:

- Prototypen av HT-EMAT visade sig att kunna fungera mycket bra under lång tid i en mycket korrosiv het rökgas i en sopförbränningsanläggning.
- HT-EMAT behöver endast kalibreras en enda gång och visar därefter ingen egendrift över lång tid vid höga temperaturer.
- HT-EMAT mäter tjocklekar i austenitiska stål och legeringar, i ferritisk-austenitiska compoundmaterial, och även i duplexa stål vid låga och höga temperaturer med samma goda resultat och noggrannhet som för ferritiska stål.

3.1.5 Kalibrering av elektrokemisk korrosionssond i laboratoriemiljö och verifiering med fältförsök, rapport 1210

Att kunna mäta korrosionshastigheten i realtid, on-line, in situ, i kraftverk har fått allt högre prioritet p.g.a. ökad korrosion beroende på sämre bränsle kvalitet. Dessutom höjs krav på ökad verkningsgrad. Ett mer frekvent användande av korrosionsdämpade additiv gör att on-line korrosionssonder efterfrågas för att kunna optimera tillsatsmängderna.

I en tidigare utvärdering av on-line mätning av korrosion visade det sig att korrosionsförloppet kan mätas men inte kvantifieras. Resultat måste kalibreras mot mätningar gjorda med konventionella korrosionstester i efterhand för att göra en kvantifiering möjlig.

Två korrosionsmekanismer och detektionstekniker har utvärderats; allmänkorrosion med linjär polarisationsresistans och gropfrätning med *electrochemical noise*.

Undersökningen visar att mätningarna resulterar i korrosionssignaler som är kopplade till verkliga korrosionsprocesser. Vid kraftigt förändrad korrosionshastighet, under t.ex. sotblåsning, avdunstning och smältning av avlagringar, detekteras detta med signalen för gropfrätningaktivitet. Det är också troligt att denna signal har starkast koppling till den verkliga totala korrosionshastigheten vid hög temperatur. Emellertid är inte denna signal kvantifierad i befintlig försöksupställning utan ger endast ett indikativt värde. Signalen för allmänkorrosion tycks, föga överraskande, väl överensstämma med verklig korrosion vid låga temperaturer.



Figur 27. Högtemperatursond efter 5 veckors exponering.

Figure 27. Corrosion probe after 5 weeks of exposure.

Det har inte varit möjligt att fastställa kalibreringsfaktorer för jämförelse av verkliga och registrerade korrosionshastigheter vid labbförsök och fältförsök. Det är mycket svårt att fastställa skillnader i korrosionshastighet mellan olika legeringar utifrån de erhållna signalerna, trots att en markant verklig skillnad föreligger.

On-line korrosionsmätning, vid hög temperatur, är ännu inte lämpat som en huvudsaklig analysmetod, men är ett användbart komplement till konventionella metoder.

Innan det går att visa att det fungerar så bör därför metoden främst användas för elektrokemisk mätning av rökgassidig högtemperaturkorrosion i fältförsök om försiktighet tillämpas vid tolkningen av resultaten.

3.1.6 Långtidsprovning av tubskyddsmaterial - etapp 2, rapport 1215

Tubskydd skyddar överhettartuber mot materialavverkning orsakad av sotblåsning och till detta används bl.a. förhållandevis dyra material. Materialförlusterna är trots denna användning fortsatt höga vilket medför höga materialkostnader för tubskydd.

Arbetet omfattar flera försök med långtidsprovning av tubskyddsmaterial i avfallspannorna Händelö P14 och Högdalen P6. Bägge anläggningarna är av typen cirkulerande fluidbädd (CFB). Exponeringstiderna i dessa har varit upp till 11 800 h respektive 2 500 h, vilket för många av materialen varit lika med deras totala livslängd. I rapporten presenteras resultat ifrån försök med tubskydd utförda i följande material (bokstavsordning): 253MA®, 304L, 316L, Alkrothal®, Hastelloy® G-30, Haynes® 556, Haynes HR-120, Haynes HR-160, Kanthal® A-1, Kanthal AF, Kanthal APM, Kanthal APMT, Kanthal D och Sicromal 8.

I testkampanj 1 exponerades 11 st. legeringar fördelat på 22 st. tubskydd och därmed lika många positioner under ca 2 500 h.

Haynes 556



Kanthal A-1



Haynes HR-120



Sicromal 8



Figur 28. De två bästa respektive två sämsta tubskydden efter testkampanj 1.

Figure 28. The two best and the two worst tube shields after test campaign 1.

Följande legeringar har i fallande ordning rangordnats som mer motståndskraftiga mot metallavverkning än 253MA (referensmaterial): Kanthal APMT, Kanthal APM, Haynes 556, Kanthal A-1, Kanthal AF och Hastelloy G-30. Det har visat sig att rangordningen är i det närmaste anläggningsoberoende och att resultaten därför är brett tillämpbara.

Rapporten presenterar också begränsade resultat ifrån försök med karbidbaserade beläggningar och ett keramiskt tubskydd.

3.1.7 Kartläggning av rökgaskondenseringsanläggningar med avseende på korrosionsrisker, bibränslekvaliteter, teknik och materialval, rapport 1220

Korrosion i rökgaskondenseringsutrustningar installerade i små och medelstora (1 - 25 MW_t) bibränsleeldade panncentraler har blivit ett problem i allt fler anläggningar runt om i Sverige. En tendens tycks vara att problemen är större i de anläggningar som använder sig av s.k. terminalflis än de som använder mer homogena bränslen.

Varken brukare, leverantörer av pann- och rökgaskondenseringsanläggningar eller bränsleleverantörer har idag några tydliga regler eller riktlinjer för sambanden mellan olika kemiska egenskaper hos bränslen, tekniska lösningar, driftdata och materialval.

Rapporten bygger på intervjuer och enkäter från anläggningar som använder olika typer av rökgaskondensering för ökat energiutbyte ur olika sorters bibränslen, och är avsedd att vara ett stöd vid val av material och lämpliga tekniker för såväl nya anläggningar som vid reparation och förbättringar av befintliga.



Figur 29. Spaltkorrosion i värmväxlarplåt. Material EN 1.4436 (SS 2343).

Figure 29. Crevice corrosion attack on a plate from heat exchanger. Material EN 1.4436 (SS 2343).

Resultaten visar att anläggningar med så kallade våta elfilter är överrepresenterade vad gäller skador i form av pitting (även benämnt gropfrätning eller punktfrätning)

För övriga trycksatta kondensatberörda delar samt rökgaskanaler efter en rökgaskondensator bör materialkvaliteten vara lägst EN 1.4462 (SS 2377) för att minimera risken för korrosionskador.

Sammanfattningsvis rekommenderas att:

- Underlag för upphandling och konstruktion av rökgaskondenseringsanläggningar ska innehålla kompletta analyser av såväl förekommande som tänkta bränsleblandningar och flygaskor.
- Vid användning av våt elfilterteknik bör rostfritt stål av lägst kvalitet EN 1.4547 användas.
- (254 SMO) användas i elfilterdelen om förväntade/beräknade bränslehalter av klor överstiger 100 mg/kgTS eller svavel överstiger 200 mg/kgTS.
- Rörledningar och rökgaskanaler för cirkulerande kondensat bör utföras i lägst EN 1.4462 (SS2377) av samma skäl som ovan.
- Stor vikt ska läggas vid placering av uttag för mätning av pH i såväl kretsar för cirkulerande kondensat som utsläpp till avlopp.
- Dosering av pH-justerande kemikalier ska utföras i och styras av mätvärden från den krets som ska regleras.
- Utrustning ska finnas för mätning av konduktivitet i kretsar för cirkulerande kondensat. Konduktivitet utgör ett mått på ”salthalt”.
- Rening av kondensat med membranteknik bör övervägas vid nyinstallationer, eller i befintliga anläggningar med ”salt-/utsläppsproblem”.

3.1.8 Material för högre ångtemperaturer (upp till 600°C) i bio- och avfallseldade anläggningar, rapport 1174

Ett mål för Svensk värmekraftindustri är att senast 2015 bygga en demonstrationsanläggning för biobränsle med en ångtemperatur på 600°C. Ett mål för Värmeforsk är att identifiera material som kan användas i en sådan anläggning. I projektet överblickas dagens kunskaper om material som kan vara användbara i pannor som eldas med biobränsle eller sopor/avfall där ångtemperaturen kan uppgå till 600°C. Anläggningar som enbart eldar hushållsavfall har exkluderats från denna sammanställning.

Denna rapport vänder sig till leverantörer av pannor och material, energiföretag och andra som är engagerade i att bygga nya värmekraftanläggningar med högre ångtemperaturer än vad som idag är vanligt.

Erfarenheter har samlats in från olika delar av anläggningar i världen med svåra bränslen och de som studerats speciellt är vattenkylda väggar och eldstadselement påverkade av högre ångtryck.

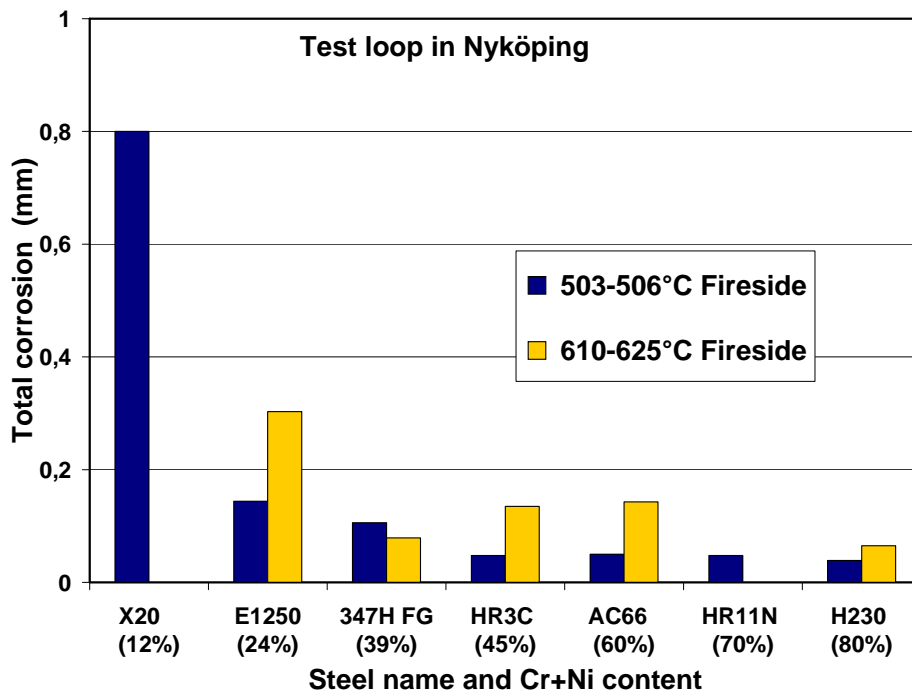
Projektet visar att det finns material som borde passa svensk värmekraftindustri med ångtemperaturer på 600 °C för förbränning av bio- och avfallsbränsle. Olika stålsorter rekommenderas för olika delar av pannan.

Intressanta resultat:

Material lämpliga för användning i anläggningar med högre ångtemperaturer (upp till 600°C) med träbaserat bio- och avfallsbränsle har identifierats.

Austenitiska rostfria stålsorterna HR3C, TP 347 HFG och AC66 har

adekvata hållfastheter, ångsideoxiderings- och rökgaskorrosionsmotstånd för att kunna användas i överhettare.



Figur 30. Total rökgassidig korrosion (medelmetallförlust plus medel av selektiv korrosion) för de olika stålerna i testslungan. Materialtemperaturer vid ångtemperaturerna 500°C och 600°C. X20 och HR11N testades inte vid 610°C.

Figure 30. Total fireside corrosion (as average metal loss plus average selective corrosion) for the different steels in the test loop. Material temperatures at steam temperatures 500°C and 600°C. X20 and HR11N were not tested at 610°C.

Figur 30 visar resultat från materialtester i Vattenfalls panna i Nyköping. Bränslet vid dessa försök har utgjorts av en blandning av biobränsle och utsorterade avfallsfraktioner. Rökgassidig korrosion vid en ångtemperatur på 500°C uppvisade minskade materialförlusterna i material med högre halter av Cr och Ni. Material med störst korrosionsmotstånd var Haynes 230, HR11N, AC 66 och HR3C följt av Eshete 1250 and TP 347 HFG. Korrosionshastigheten i X20 var oacceptabelt hög, vilket gör att detta material inte är lämpligt vid förbränning av för bio- och avfallsbränslen.

AC66 och HR3C har bättre ångsidesoxideringsmotstånd än TP 347 HFG, som å andra sidan har ett bättre rökgaskorrosionsmotstånd. Det kan rekommenderas att TP 347 HFG kulblästras på ångsidan för att förbättra oxideringsmotstånd om detta material används med ångtemperaturer över 580°C.

Eldstadsväggar belagda med Ni-bas legeringar eller en blandning av Ni-legering och keram uppvisar bra korrosionsmotstånd vid lägre temperaturer och borde utvärderas vid högre tryck och temperatur.

Ferrit/martensitiska stålsorter lämpar sig inte för överhettare på grund av dåligt rökaskorrosionsmotstånd.

Möjligheter att reducera korrosion har föreslagits genom att använda additiv och att flytta den slutliga överhettaren till områden med mindre aggressiv miljö.

Material har inte testats med 600°C ånga med halm som bränsle.

Legeringar med högt krominnehåll bör undvikas och TP 347 HFG är det material som så här långt har identifierats att ha lägst korrosionshastighet.



3.1.9 Förhöjd prestanda vid kraft och värmeproduktion - State-of-the-art i materialutveckling, rapport 1188

Ett gemensamt övergripande mål för KME, HTC och Värmeforsk är att före 2015 ska finnas behövlig kunskap för att kunna köra anläggningar med, i jämförelse med dagens läge, förhöjda ångtemperaturer. För pannor eldade med bibränsle är målet att kunna höja den utgående ångtemperaturen till 600°C. För returflis (RT-flis) är motsvarande mål 550°C, för avfallspannor siktar man mot 500°C och målet för sodapannor är att uppnå en utgående ångtemperatur på 540°C.

För att uppnå dessa mål behöver material som kan användas i sådana anläggningar identifieras. Projektet har kritiskt granskat kunskapsläget rörande materialutvecklingen. Intressant är vad som kommer i en nära framtid och som kan förväntas ge resultat inom de närmaste fem åren.

Erfarenheter från anläggningar, och tidigare utförda tester har behandlats. Sammanställningen omfattar eldstaden, överhettarna och ångledningarna och ånglådor. Intressanta material och ytbehandlingar har identifierats. Det finns även en hel del aspekter när det gäller pannornas konstruktion, förbränningsteknik, etc. Dessa har inte behandlats ingående inom detta projekt men är av stor betydelse för utvecklingen av framtida anläggningar.

Resultat från projektet:

Lämpliga material som kan användas i *överhettare* i returflis- och avfallspannor med högre ångdata har identifierats. Alloy 625 rekommenderas som compoundtub eller påsvets.

Det är mycket troligt att de material och ytbeläggningar som används för *eldstaden* i dagens pannor kan användas även vid högre ångdata. SiC-plattor/ murning med SiC och Alloy 625 kan användas i eldstaden.

Material som är lämpliga för *ångledningarna och ånglådor* i RT-flis- och avfallsanläggningar har identifierats.

Material som kan användas i *sodapannor* med högre ångdata har identifierats. De material som används idag i eldstaden kan användas även vid de uppsatta målen med högre ångdata. För överhettarna kan användning av nickelbaslegeringar som Alloy 625 eller Alloy 825 (i form av compoundtuber eller påsvets) möjliggöra en höjning av ångdata.

Japan har haft både avfallsanläggningar och sodapannor med högre ångdata i drift sedan länge. Kontakter bör etableras med kraftindustrin i Japan i syfte att ta del av deras erfarenheter.



Figur 32. Korrosionsprob där sex olika material kan provas, före och efter ett försök.

Figure 32. Corrosion probe where six different materials can be tested, before and after a trial.

3.1.10 Inverkan på livslängden hos gasturbinkomponenter vid förekomst av H₂S i drivmedel, rapport 1238

Praktiska erfarenheter visar att förekomsten av H₂S i naturgas använd som bränsle i gasturbiner kraftigt kan påverka livslängden hos de keramiska ytbeläggningar (termiska barriärskikt; TBC) som används för att isolera metallytor från höga gastemperaturer. I moderna gasturbiner har dessa ytbeläggningar mycket stor betydelse för livslängden på turbinkomponenter och därmed i förlängningen också för vilka bränslen som är kommersiellt gångbara.

Cyklisk exponering med och utan SO₂ och ca 10 vikts ppm alkalisulfat har använts för att bedöma livslängden hos fem nickelbaserade superlegeringar för att simulera förhållandena i en gastrubin som drivs med bränsle som innehåller 3Wt% H₂S. Provningsen har genomförts över dagpunkten för alkalisulfaten.

Målet har varit att generera data och öka förståelse för de korrosionsmekanismer som uppstår vid exponering av nickelbaserade superlegeringar samt termiska barriärskikt (TBC) i SO₂ (restprodukt vid förbränning av H₂S). Även miljöer där mindre mängder alkalisulfater förekommer ska studeras. Det övergripande målet är att öka möjligheterna att driva gasturbiner med biogas utan att riskera oväntat höga underhållskostnader. Förhållandena för provningen har valts med avseende på de komponenter som kostar mest att byta ut.

Fokus i arbetet har varit att studera nedbrytningsmekanismerna i de oxidlager som skyddar och bildar passiva lager på ytan av de legeringar som används i gasturbiner. Dessutom har de oxidlager som växer mellan den yttre keramiska ytbeläggning som svarar för det termiska barriärskiktets isolerande förmåga och det metalliska bindskikt som svarar för vidhäftningen av det yttre lagret studerats. Tillväxten och mikrostrukturen hos detta oxidlager är kritisk för vidhäftningen.

Grundmaterial för gasturbinapplikationer skiljer sig kraftigt beroende på applikation. Inom projektet har två material för brännkammare; Haynes 230 och Hastalloy-X samt

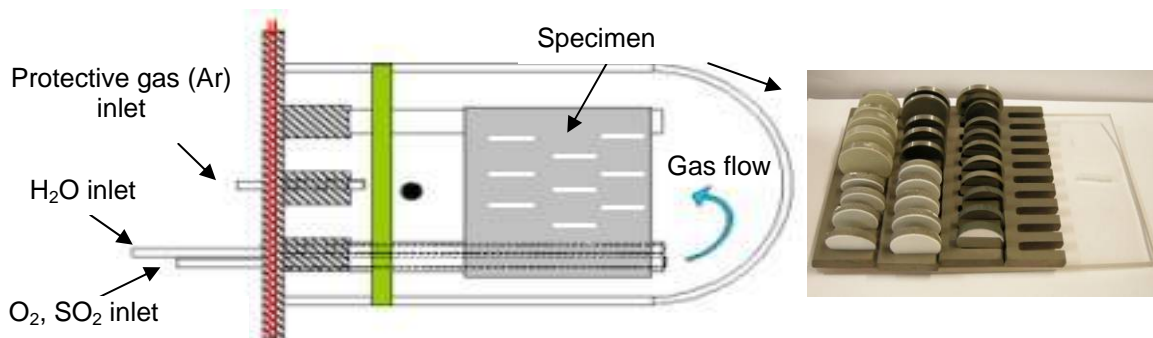
tre material för turbinbeskovling; CM247, Inconell 792, och SCA425+ provats. Provning har utförts både med och utan TBC.

Oxidations- och korrosionsprovning har utförts i tre olika miljöer där provningen även inkluderar termisk cykling till rumstemperatur med 65h intervall. De tre miljöerna består av: 1) torr luft, 2) en idealiserad miljö som i största möjliga utsträckning representerar en gasturbin med ca 3Wt% H₂S i bränslet, 3) samma miljö som i 2 men med 38 vikts ppm alkalisulfat förångad. Provningstemperaturen valdes till 900°C för att erhålla tillräcklig mängd förångad sulfat, vara under den temperatur då flera av materialen bildar stabila aluminiumoxidlager, samt nära men över daggpunkten för alkalisulfat.

Resultaten som uppnåtts inom projektet visar att trots att provmiljöerna som valts innebär jämförelsevis hög halt av H₂S och en alkalisulfatbelastning som vida överstiger vad som kan förväntas i en gasturbin med moderna inloppsfilter så uppstår inga korrosionsangrepp som förefaller relaterade till förekomsten av svavel eller alkalisulfat i gasfas.

Resultaten från provningen visar att oxidationshastigheten för samtliga material utom IN792 minskar något när alkalisulfat introducerats i provmiljön vilket inte förväntades.

Slutsatsen från provningen är att det förefaller som om inverkan av SO₂ och alkalisulfat i gasfas har obetydlig inverkan på oxidationshastigheten vid den aktuella provningstemperaturen. Ett möjligt sätt att minska den osäkerhet som introduceras genom valet av provmetod är att gå vidare med provning i en mindre pilotanläggning eller brännarrigg.



Figur 33. Experimentuppställning

Figure 33. Schematic of experimental set-up

3.2 Miljörelaterade material- och kemifrågor

Material- och kemirelaterade problem förekommer även vad gäller vatten och ånga i energianläggningar. Nya bränslen och bredare bränslemixar leder också till att vattenutsläppen från anläggningarna blir allt mer förorenade och kräver mer omfattande och effektivare rening. Detta gäller såväl rökgaskondensat som lak-, slagg-, tvätt- och sotvatten. Inom EU finns det sedan år 2000 ett gemensamt regelverk – vattendirektivet – som ska säkra en god vattenkvalitet i Europas yt- och grundvatten. Direktivet ställer krav på att EU:s medlemsländer arbetar på ett gemensamt sätt med inriktning på att minska föroreningar, främja hållbar vattenanvändning och förbättra tillståndet för vattenberoende ekosystem. Utsläppen av processvatten som innehåller bl.a. tungmetaller faller under EU:s vattendirektiv.

Kemifrågor avseende processvatten i förbränningsanläggningar har en tendens att få en undanskymd plats i energiproduktionen, vilket är olyckligt då vattenkemi är utomordentligt viktig för anläggningarnas tillgänglighet. Det är därför angeläget att området lyfts upp för att kunna förbättra och utveckla de vattenburna delarna i processen. Detta inte minst för att anpassa produktionen till nya direktiv och regelverk.

I Värmeforsks allra tidigaste program var en stor del av den kemirelaterade forskningen inriktad mot projekt som utvecklade metoder för kemisk rengöring av pannor och dosering av syrereducerande medel tillsammans med korrosionsinhiberande medel för att förhindra korrosion i hetvatten och ångsystem. Efterhand har fokus skiftat mot utveckling av nya tekniker för produktion, övervakning och rening av processvatten. Värmeforsk "Handbok i vattenkemi för energianläggningar", är en de viktigare rapporter som publicerats i Värmeforsks rapportserie. Hanboken i vattenbehandling publicerades 2001, är än idag ett viktigt uppslagsverk för anläggningarnas kemister, och har samtidigt utgjort undervisningsmaterial vid utbildning av driftpersonal.

I Tabell 6 sammanfattas projekt inom delområdet "Miljörelaterade material- och kemifrågor".

Tabell 6. *Projekt om miljörelaterade material- och kemifrågor under programperioden 2008-2011*

Table 6. *Projects on environment related material and chemical issues in the program period 2008-2011.*

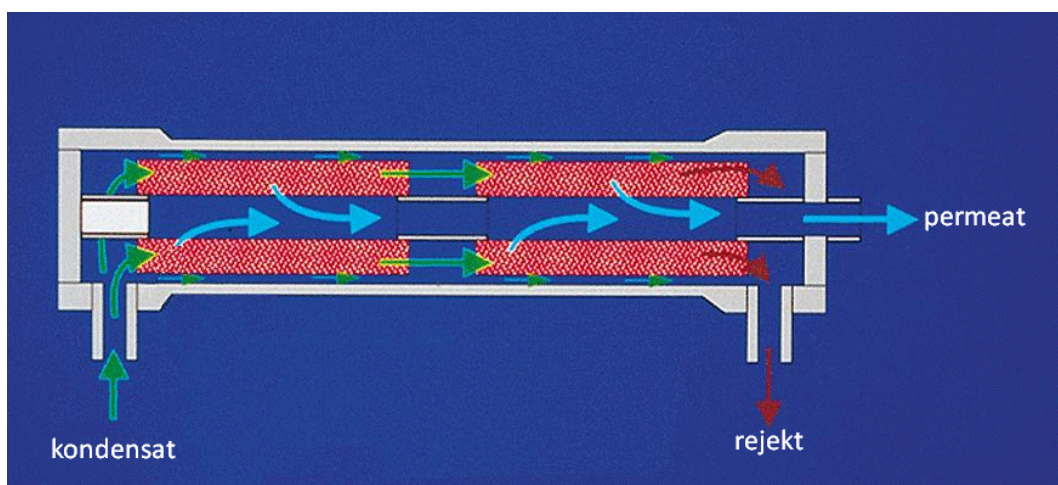
Titel/utförare	Rapport nr
Utvärdering av erfarenheter av membranteknik för rening av rökgaskondensat /Grontmij, Hellman Vatten	1089
Avsaltning av Östersjövatten - Val av rätt förbehandling för råvattnet /Hellman Vatten	1182
Teknikval vid rening av rökgaskondensat i avfallsförbränningsanläggningar /Grontmij AB	1184
Provtagningsystem för vatten och ånga /Hellman vatten	1120

3.2.1 Utvärdering av erfarenheter av membranteknik för rening av rökgaskondensat, rapport 1089

Installation av en reningsanläggning för rökgaskondensat är ofta något så ovanligt som en ekonomiskt lönsam miljöinvestering. De äldsta reningsanläggningarna för rökgaskondensat baserade på membranteknik har varit i drift under nästan 10 år, och har passerat den första intrimnings- och justerings/ombyggnadsfasen. Erfarenheterna av membrantekniken varierar från mycket goda erfarenheter till betydligt sämre erfarenheter från anläggningar som är felkonstruerade eller har ojämn förbränning och "svårare" rökgaskondensat eller där man har satsat på kombinerad rening av rökgaskondensat och ytvatten.

Rapporten omfattar sammanställning, uppföljning och utvärdering av erfarenheter av kondensatrening med membranteknik vid tio bibränsleeldade anläggningar och samförbränningsanläggningar.

Tekniken att rena rökgaskondensat med membranteknik och återvinna både vatten och energi fungerar bra. Det visar sig dock vara viktigt att projektansvariga på anläggningen engagerar sig och sätter sig in i tekniken för att undvika igångkörningsproblem. Det är inte membrantekniken i anläggningarna som varit orsak till igångkörningsproblem utan mer vardagliga saker såsom reglerproblem, pH-justering, styrning och övervakning. När dessa problem till slut lösts, ofta utan större investeringar har reningsanläggningarna fungerat på ett tillfredsställande sätt. Dessutom har en avfallseldad anläggning tagits med för ytterligare jämförelser på vissa punkter. Rapporten sammanfattas med råd inför kommande projekt där anläggningar för rening av rökgaskondensat ska installeras.

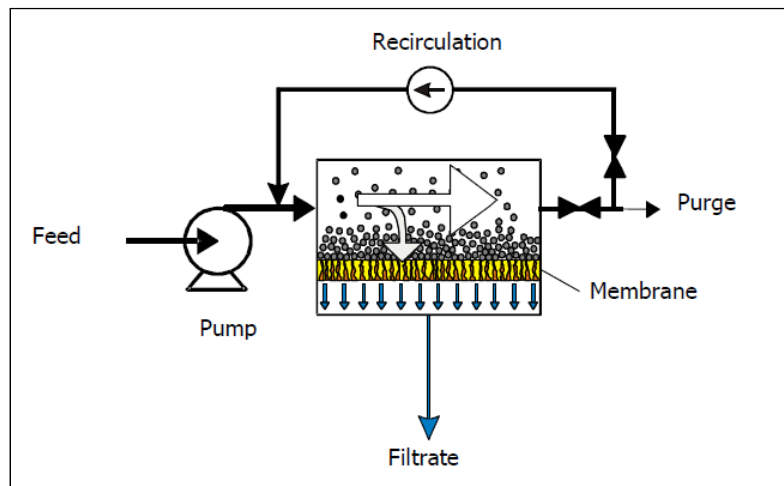


Figur 34. Membran för omvänd osmos, RO.

Figure 34. Membrane for reversed osmosis, RO.

I rapporten görs jämförelser mellan membrantekniken och vanliga jonbytare, både avseende reningskapacitet och ekonomi. Detta för att anläggningsägare ska kunna göra en adekvat bedömning om det behövs dyra filter för att garantera renheten eller det räcker med billigare filter för att uppnå tillräcklig renhet.

Deadend-filtrering anses av många vara bästa valet för vattenrening då halten fasta partiklar i vattnet anses som låg jämfört med andra typer av industriella applikationer. Det ger en enkel installation och låg driftkostnad.



Figur 35. Deadend filtrering

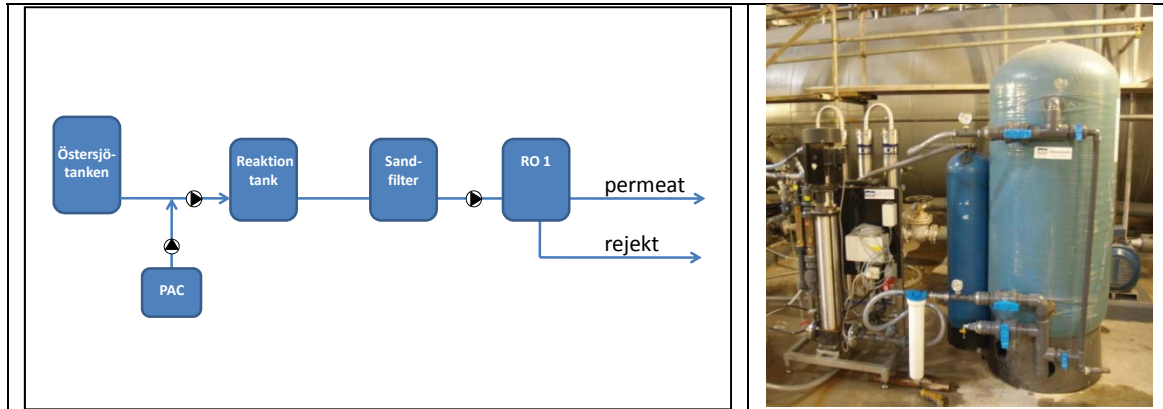
Figure 35. Dead-end filtration

3.2.2 Avsaltning av Östersjövatten - Val av rätt förbehandling för råvattnet, rapport 1182

Avsaltning av Östersjövatten är en ny mycket intressant applikation i Sverige. Det saknas praktisk erfarenhet hos både leverantörer och anläggningsägare. Det aktuella pilotförsöket visar att tekniken fungerar och att det även kan vara ett mycket ekonomiskt tilltalande alternativ.

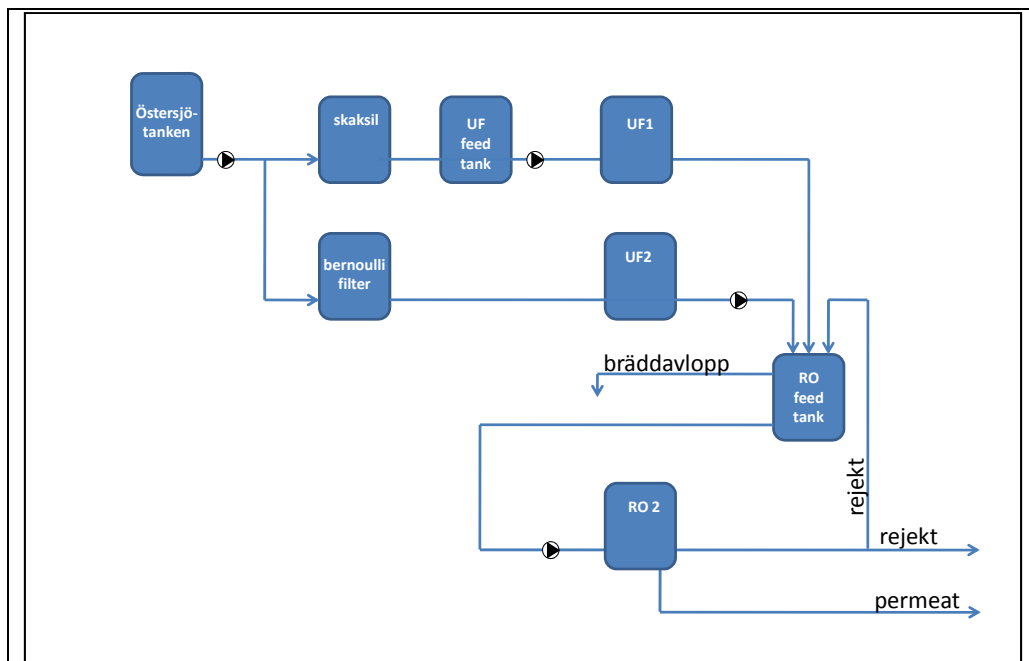
Det är relativt lätt att avskilja salter med membranteknik. Det är det organiska materialet som orsakar problem. Det innebär att det borde vara bättre att utgå från en råvattenkälla med så låg halt organiskt material som möjligt. Mängden salt i råvattnet har mindre betydelse. Därmed borde Östersjövatten vara en bättre råvattenkälla än vatten från sjöar, floder eller annat humusrikt ytvatten.

Två olika typer av reningsanläggningar har undersökts vid Karlshamnverket. Den ena anläggningen består av ett sandfilter följt av en omvänd osmos (RO) anläggning. Den andra anläggningen består av mikrofilter (MF) och ultrafilter (UF) följt av en RO-anläggning. Provperioden har varit 10 månader i syfte att söka omfatta naturliga variationer i vattenkvalitet under året. Båda teknikvalen som provats fungerar bra som förbehandling före ett RO-aggregat.



Figur 36. Anläggning 1

Figure 36. Pilot plant 1



Figur 37. Anläggning 2

Figure 37. Pilot plant 2

Det går inte att definitivt rekommendera vilken typ av förbehandling som är bäst i en anläggning för avsaltning av Östersjövatten. Båda teknikvalen har sina för och nackdelar och måste anses fungera bra.

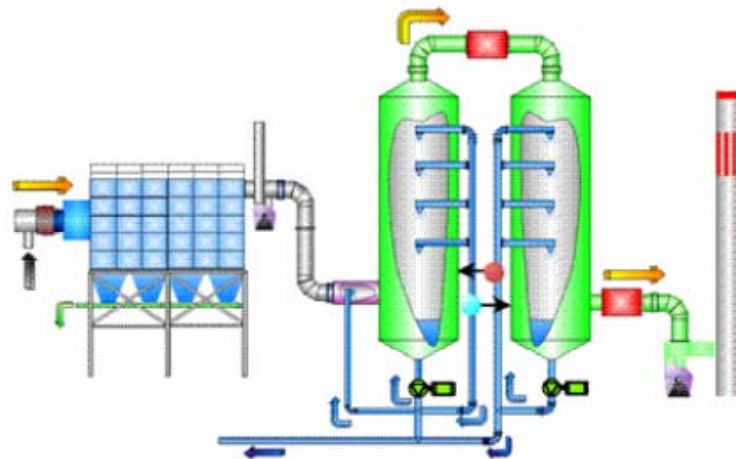
Slutsatsen är, som så ofta när det gäller vattenbehandling, att valet av förbehandling måste avgöras från fall till fall. Avgörande faktorer är vattenkvalitet, önskad driftsäkerhet, ekonomi, vattenbehov, möjlighet till stopp i anläggningen etc. Den avgörande frågan är om man anser att risken för driftstörningar är så stor att man anser att merkostnaden för UF-membran är befogad.

3.2.3 Teknikval vid rening av rökgaskondensat i avfallsförbränningsanläggningar, rapport 1184

Vid avfallsförbränningsanläggningar kan man idag välja mellan ett antal olika tekniker för att rena avloppsvatten från rökgasrenings- och kondenseringssteg. Förutom konventionell vattenreningsteknik med fällning, flockning, sedimentering och filtrering har man på senare tid också börjat använda membranteknik och tungmetallselektiva jonbytare. De senare är tekniker som har använts framgångsrikt vid rening av rökgaskondensat på biobränsleeldade anläggningar sedan ett tiotal år tillbaka.

Erfarenheter från sex svenska och danska avfallsförbränningsanläggningar redovisas. Anläggningarna har valts ut för att täcka in ett brett spektrum av rökgaskvaliteter, med varierande tungmetallhalter (beroende på olika föroreningshalt i bränslet), ammoniakhalter (beroende på om SNCR eller SCR används för NO_x-reduktion) samt sulfat- och kloridhalter (beroende på om torr/våttorr eller våt svavelrening används). Hos två av anläggningarna recirkuleras det sura kondensatet från första skrubbersteget, medan detta kondensat renas hos de övriga fyra anläggningarna. Två av anläggningarna har vattenreningsteknik baserad på fällning, flockning, sedimentering och filtrering. Två anläggningar använder tungmetallselektiva jonbytare. Två anläggningar använder RO-membran.

I rapporten redovisas analyser av avloppsvatten från olika steg i vattenreningen hos de sex anläggningarna, tillsammans med drifterfarenheter från vattenreningens anläggningarna. Dessutom diskuteras årskostnader för ett antal alternativa reningskoncept.



Figur 38. Torr rökgasrening med efterföljande slangfilter (BREF avfallsförbränning. BREF beskriver vad som anses vara bästa tillgängliga teknik)

Figure 38. Dry flue gas treatment with downstream fabric filter (BREF waste incineration)

3.2.4 Provtagningsystem för vatten och ånga, rapport 1120

Syftet med all provtagning är att få ut en mindre mängd av processvattnet som har motsvarande sammansättning som huvudflödet. Det finns mycket litteratur om provtagningsystem och den gemensamma nämnaren är vikten av att erhålla representativa prover. Ofta understryks att analys av ett felaktigt uttaget prov kan vara sämre än ingen provtagning alls. I rapporten redogörs för olika provtagningsfilosofier och skillnader i aktuella riktlinjer gällande provtagningsystem för vatten och ånga i energianläggningar. Utifrån befintliga riktlinjer ges sammanfattningsvis rekommendationer för hur provtagningsystemet bäst kan/bör utformas för att man ska erhålla representativa prover och därmed en säker och ekonomisk drift.

Rekommendationerna har anpassats till den utrustning som finns i en svensk energianläggning på 2000-talet och till de krav som ställs på en sådan anläggning.

I Sverige har det på senare tid diskuterats vilken flödes hastighet man bör ha på vatten i en provtagningsledning. Europeiska riktlinjer från VGB och ÅF anger en flödes hastighet på 0,2 m/s medan rekommendationer främst från USA anger flödes hastigheter på 1,8 m/s. Diskussionen om flödes hastigheter avser enbart prov i vätskefas.

De amerikanska riktlinjerna från EPRI och ASME skapar förutsättningar för ett provtagningsystem som inte behöver renspolas vid normal drift. I europeiska riktlinjer från VGB och ÅF rekommenderas det uttryckligen att provtagningsledningarna ska renspolas regelbundet för att avlägsna sedimenterade partiklar.

Provtagningsystemet ska designas så att provet inte påverkas under transport från provpunkten fram till den punkt där analysen sker. Det borde krasst innebära att alla provtagningsledningar som måste renspolas är felkonstruerade, då partiklar blivit kvar i ledningen.

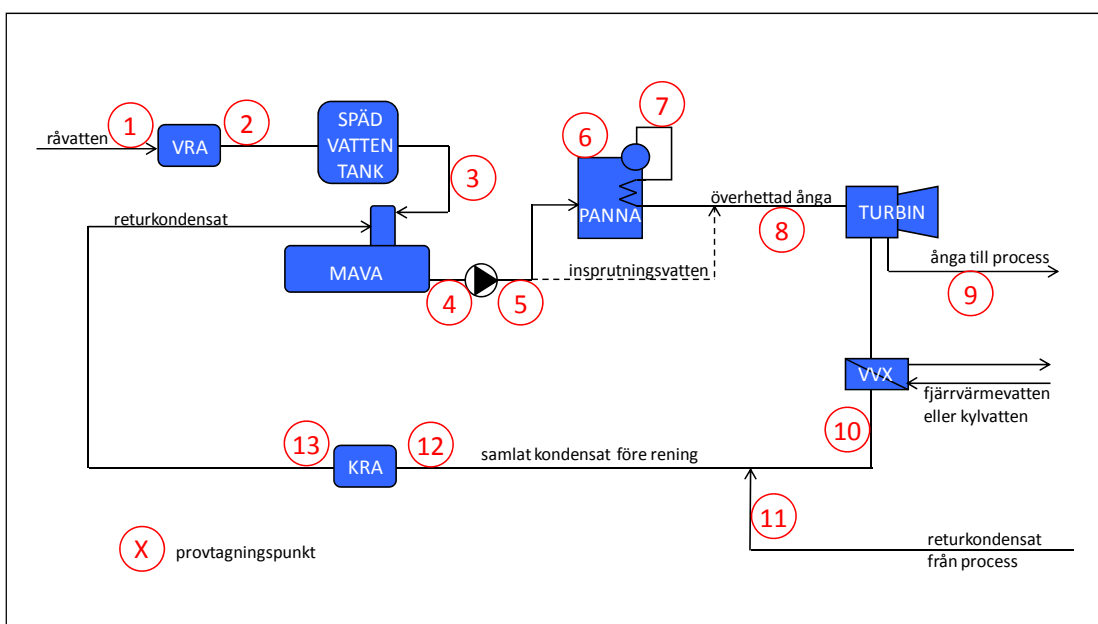
Ett provtagningsystem utformat enligt rekommendationerna i rapporten kan se ut som följer:

- Alla provuttag är försedda med provtagningssonder designade för isokinetisk provtagning utifrån de data som gäller för respektive position i systemet.
- Provuttag på ånga förses med en provtagningskylare direkt i anslutning till provtagningssonden där ångan kondenseras, varpå provet transporteras som vatten vid en flödes hastighet på 1,8 m/s till provtagningsriggen.
- Vid provuttag på vatten dimensioneras provtagningsledningen så att provet kan transporteras med en flödes hastighet på 1,8 m/s till provtagningsriggen.
- Vid provtagningsriggen tempereras provet till 25°C i en provtagningskylare för varje provpunkt. För prov på ånga innebär det en sekundär kylare.
- En mottrycksregulator säkerställer att ett konstant flöde erhålls i provtagningsledningen och en temperaturvakt stoppar provflödet vid för hög temperatur.
- I anslutning till provtagningsriggen finns ett eller flera system för återvinning av vatten och energi.

Rapporten omfattar också rekommendationer rörande:

- val av provpunkter och placering av provuttag
- dimensionering och utformning av provtagningssonder
- dimensionering av provtagningsledningar
- ventiler samt utrustning för temperatur- och flödesövervakning
- energi- och vattenåtervinning
- befintliga anläggningar

De rekommendationer som ges i rapporten medför högre flöden än tidigare riktlinjer för både prov- och kylvatten. Det finns därför all anledning att försöka återvinna både kylvatten och det provvatten som inte behövs till onlineinstrument eller laboratorieprov. De flesta vattenströmmarna kan återföras till vatten-ångkretsen, flertalet direkt utan rening, via lämplig tank.



Figur 39. Exempel på placering av provtagningspunkter

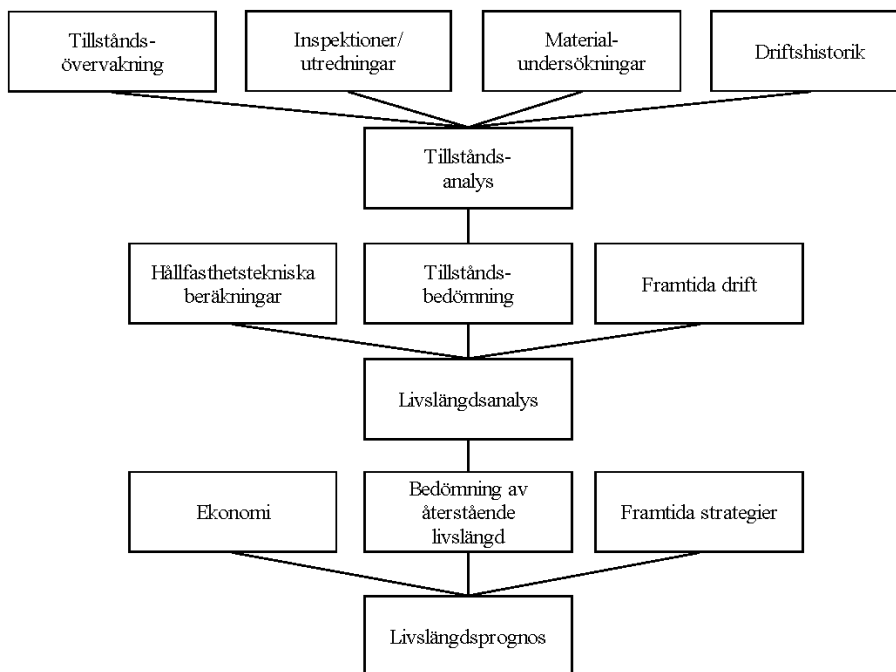
Figure 39. Example of sample point placing

3.3 Tillgänglighets- och livslängdsfrågor

Forskningen och utvecklingen inom huvudområdet för tillgänglighets- och livslängdsfrågor har som syfte att uppnå bättre tillgänglighet samt utökad livslängd i befintliga och nya anläggningar. I verksamhetsområdet ingår utvärdering av nya material och ytbeläggningar och av nya metoder inom anläggningskemi och kemiövervakning, liksom utveckling av nya och förbättrade reparationsmetoder och förbättrade metoder för konditionsbedömning. Livslängdsarbete är ett angeläget forskningsområde för att kunna förhindra oväntade haverier.

Tillgänglighet och livslängd har avgörande betydelse både för anläggningarnas säkerhet men också för produktionskostnaderna. När anläggningarna blir äldre kan kritiska komponenter försämrans genom sådana mekanismer som krypning, utmattning, erosion och korrosion. Materialets kondition hos dessa komponenter och den återstående tiden tills de måste bytas ut eller repareras är de viktigaste övervägandena som måste göras för att anläggningar ska hållas i drift. Även ur säkerhetsmässig synpunkt är det av yttersta vikt att kunna bedöma hur länge en anläggning kan köras på ett betryggande sätt. Utveckling av reparationsmetoder är en förutsättning för att säkerställa en tillräckligt hög tillgänglighet i befintliga anläggningar. En del reparationsmetoder behöver utvecklas och förbättras för att ge tillräckligt hög kvalitet med godtagbara avställningstider.

Inom Värmeforsk har forskning sedan länge pågått för att förstå de skademekanismer som förekommer vid högttemperaturlämpningar. Syftet med forskningsinsatserna är att kunna minska skadeproblemen, bedöma återstående livslängd hos konstruktionsmaterialen, samt att utföra reparation på lämpligast sätt. Ett stort och genomgripande arbete avseende livslängdsarbete är ”Handbok för livslängdsarbete med energianläggningar”, som utkom 2004. [Värmeforskrapport 885]. Handboken är exempel på forskning som lett till viktig vägledning för hur livslängdsarbete ska kunna bedrivas på energianläggningarna. Figur 41 visar hur de olika delarna i livslängdsarbetet är kopplade till varandra. Linjerna anger arbetsordningen samt vad som bör beaktas och utföras, dels för att kunna göra en tillståndsbedömning, och vidare för att kunna nå fram till att göra en livslängdsprognos.



Figur 40. Definition av livslängdsarbetet i energianläggningar

Figure 40. Definition of life management in Power Plants

I en livslängdsprognos ingår utöver bedömning av den återstående livslängden även analys av de ekonomiska förutsättningar och strategier för hur materialens egenskaper kan förbättras. Livslängdsprognosen är alltså den övergripande värderingen av anläggningens livslängd, eller delar av denna, där de ekonomiska och strategiska faktorerna viktas in. I forskningsområdet ingår att övervaka så att internationella normer, lagar och direktiv bevakas och utvärderas. Handböcker som ett medel för kunskapsöverföring, liksom framtagandet av nya handböcker har utförts inom perioden.

Polymera material i system med avancerad energiåtervinning och bättre rökgasrening används i allt större utsträckning där miljön är alltför korrosiv för de flesta metalliska material. Erfarenheter från haverier av exempelvis tankar i polymera material för förvaring av syror, har gjort att risk- och tillgänglighetsfrågor i polymera material uppmärksammas. Typiska polymera material är framförallt glasfiberarmerad esterplast (GAP), men även glasflakefyllda beläggningar, PP och fluorplaster. Även de polymera materialen ställs inför allt större påfrestningar i form av ökade temperaturer, temperaturväxlingar, ändringar i rökgassammansättning beroende på ändringar i bränslesammansättning, samt längre drifttider, vilket medför både kortare drifttider, men framförallt ökad risk i form av haveri. I Värmeforsks program har därför ett flertal projekt initierats för att utreda de polymera materialens egenskaper, och vilka skador som kan uppträda i materialen.

I Tabell 7 finns en sammanställning av projekt inom delområdet ”Tillgänglighets- och livslängdsfrågor”.

Tabell 7. Projekt om tillgänglighets- och livslängdsfrågor under programperioden 2008-2011

Table 7. Project on accessibility and durability issues in the program period 2008-2011

Titel/utförare	Rapport nr
Studie av krypbeteendet hos HAZ genom pilot- och långtidsförsök samt simulering av svetsreparerade låglegerade varmhållfasta stål /Swerea KIMAB	1204
Utveckling av krypskador hos svetsade komponenter av X20 och P91/ Vattenfall Thermal Power	1177
Handbok – Statusbedömning av polymera material i rökgassystem /Swerea KIMAB	1165 1195
Förlängda driftperioder mellan underhållsstopp /Inspecta	1137
Kartläggning av krypskador i ett T-stycke från ett utrangerat ångnät med drifttemperaturen 450°C /Inspecta	1118
Miljöinverkan på LCF-egenskaper vid långa drifttider hos superlegeringar /Siemens Industrial Turbomachinery	1223
Normstudie gällande lastvariation för rörupphängningar /PA Ingenjörssupport	1124
Förebyggande underhåll och livslängdsbedömning med avseende på cyklisk drift /Inspecta	1178
Krypspricktillväxt under gränstemperaturen för krypning i driftpåkända svetsar av 13 CrMo 4 4 /Swerea KIMAB	1207
Bedömningsunderlag för när kemisk rengöring är lämpligt för pannor /ÅF Engineering	1202
Glatta ytor: En genomgång av glatta ytor som teknik för att stå emot bildning av beläggningar på värmeöverförande ytor /YKI Ytkemiska institutet	1232
Status, kvarvarande livslängd och kvalitetssäkring av PP-material i anläggningar för rening och kondensering av rökgaser/ Swerea KIMAB	1194

3.3.1 Studie av krypbeteendet hos HAZ genom pilot- och långtidsförsök samt simulering av svetsreparerade låglegerade varmhållfasta stål, rapport 1204

Värmeforsk har under senare år finansierat projekt där krypbeteendet hos reparationssvetsar med CrMo och Mo stål har studerats experimentellt och genom finita element simuleringar av svetsreparerade rundsvetsar. Från dessa projekt saknades dock krypdata från den värmepåverkade zonen, HAZ, (heat affected zone) som generellt sett har en mycket stor betydelse för kryplivslängden hos svetsar.

I föreliggande projekt har krypdata för HAZ tagits fram genom i) långtidsprovning av krypprovstavar placerade tvärs svetsar, så kallade cross weld (CW) provstavar innehållandes grundmaterial, svetsgods så väl som HAZ, och ii) provning av en nyutvecklade typ av provstav där endast HAZ utsätts för krypning. Med dessa krypdata kan det verkliga beteendet hos riktiga svetsar bättre simuleras än om man tvingas anta krypegenskaperna i HAZ.

Projektet syftar till att kvantifiera effekten av att använda sig av undermatchande svetstillätsmaterial med avseende på sammansättning i syfte att förlänga livslängden hos kryppåkända svetsreparationer som erfarenhetsmässigt är förknippade med korta livslängder.

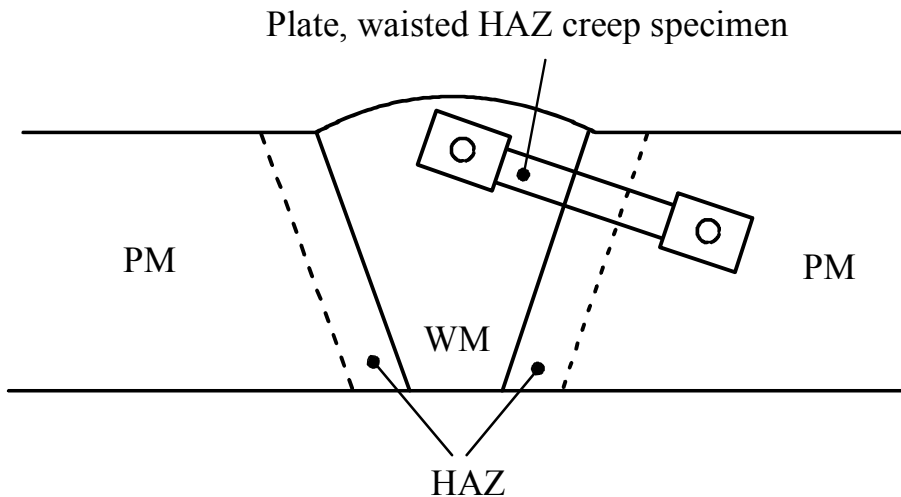
Ett driftpåkänt 10 CrMo 9 10 rör med svets har använts för svetsreparation med tillsatsmaterial av typ 10 CrMo 9 10, 13 CrMo 4 4 och 15 Mo 3. Tre CW serier betecknade 10CW, 13CW respektive 15CW provades jämte en serie, betecknad 10EXCW, från originalsvetsen för jämförelse. Dessutom provades en serie med HAZ provstavar uttagna från originalsvetsen.

Av totalt 8 CW prover vid 540°C har 7 gått till brott medan 1 prov fortfarande pågår. Krypprovningstider upp till 25,000 timmar har för närvarande uppnåtts. 10CW och 15CW har längre livslängd än 13CX och 10EXCW.

I jämförelse med CW resultaten gav HAZ provstaven längre livslängder. Minsta kryptöjningshastigheterna var likvärdiga men brottförlängningen var ca 4 gånger längre för HAZ provstaven. Med tanke på att CW provstaven gick till brott i grundmaterial pekar resultaten på en högre kryphållfasthet i HAZ än i grundmaterial för driftpåkänt (212,000 timmar i 540°) 10 CrMo 9 10 vid krypprovning ned till 78 MPa. Det är högre än typiska driftspänningar men en låg spänning i provningssammanhang. För HAZ provstaven sker brotten i den interkritiska delen av HAZ, vilket är förväntat. I övriga delar av HAZ observerades inga krypkaviteter. De lokala töjningarna vid provningen övervakades under provningen med hjälp av mikrohårdhetsintryck längs provstavarnas mätlängder. Förhöjd lokal deformation observerades i den interkritiska delen av HAZ. Jämfört med grovkornig HAZ var den 4-6 gånger högre i senare skeden av krypprovet.

Finita element simuleringar av svetsreparerade rör med ovan beskrivna svetstillsatsmaterial och data från CW och HAZ provserier utfördes. Dessutom studerades effekten av systemspänning i form av en extra axiell spänningsfaktor på 1,5. Sammanlagt simulerades 16 olika fall. Krypegenskaperna för HAZ liknade grundmaterialet med undantag av förlängningsvärdena. Det resulterade i en krypskadeutveckling i svetsgods som var mer eller mindre påtaglig beroende på vilket svetstillsatsmaterial som använts till reparationen.

Svetstillsatsmaterial av typ 10 CrMo 9 10, som har mycket högre kryphållfasthet än motsvarande driftpåkänt grundmaterial, gav en lokal och en relativt snabb krypskadeutveckling i svetsgodset i botten av reparationen samt en relativt kort kryplivslängd. Svetstillsatsmaterial av typ 13 CrMo 4 4, som har lägre kryphållfasthet än typ 10 CrMo 9 10, gav en mer utbredd skadeutveckling i svetsgodset och ca 25 % längre livslängd. Typ 15 Mo 3 med ännu lägre kryphållfasthet gav en betydligt mer utspridd skadeutveckling, även i HAZ och grundmaterial. Det resulterade i 3 gånger längre livslängder än för fallen med typ 10 CrMo 9 10. Typ 15 Mo 3 gav livslängder i paritet med den ursprungliga kryppåkända svetsen där krypegenskaperna mellan grundmaterial och svetsgods i hög grad matchar varandra. Den extra axiella lasten förkortade livslängden överlag med 20-25 % för de simulerade fallen av svetsreparation.



Figur 41. Schematisk illustration av position för provuttag av krypprovstavar med midjan avgränsad till den värmepåverkade zonen, HAZ. PM och WM betecknar grundmaterial respektive svetsgods.

Figure 41. Schematic illustration of position for extraction of plate and waisted HAZ creep specimen. PM and WM refer to parent metal and weld metal, respectively.

3.3.2 Utveckling av krypskador hos svetsade komponenter av X20 och P91, rapport 1177

Fem svetsade formstycken av 12 % Cr-stålet X 20 CrMoV 12 1 (X20) och en svetsad ånglåda av det modifierade 9 % Cr-stålet P91 har undersökts. Dessa material har en utbredd användning i både biobränsle- och koleldade kraft- och kraftvärmeverk.

Samtliga undersökta komponenter hade utvecklat krypskador i svetsar under långtidsdrift i upp till 70 000 – 150 000 timmar hos respektive anläggning. Syftet med undersökningarna var att etablera kunskap för att kunna upprätta inspektionsstrategier och intervall för återkommande inspektioner för svetsade komponenter tillverkade av dessa stål.

Ingående granskning av utbytta komponenter från ångledning tillverkade av X20 visade att krypskador kan förväntas tillväxa på samma sätt som för låglegerade stål. Denna slutsats var ny jämfört med tidigare antaganden. Den huvudsakliga skillnaden mellan den föreliggande studien och tidigare arbeten är att utbytta komponenter fanns tillgängliga för metallografiska undersökningar.

Ett antal metallografiska undersökningar av X20 och P91 visade en kavitetbildning enligt liknande mönster som har observerats hos låglegerade stål. Det vill säga kavitetbildning i form av Typ IV skador i den interkritiska zonen av svetsar. Dessutom observerades en avtagande gradient av kavitetbildning från komponenternas yta mot godsets insida. Det pekar på att krypskadan först bildas vid ytterytan av komponenten.

Ånglådan av P91 hade ett ogynnsamt innehåll av Al och N som bidrog till sprickbildningen. Ett tydligt samband mellan N/Al förhållandet och volymdensiteten av

MX partiklar stöder denna slutsats. En gemensam jämförelse mellan ånglådan av P91 från Storbritannien och ett danskt kraftverk utfördes med resultatet att inga skador påträffades i den danska anläggningen hos liknande komponenter (med mer gynnsamma AL/N förhållande). Det indikerar att de brittiska erfarenheterna inte nödvändigtvis behöver vara desamma för P91 komponenter i allmänhet.

FEM (Finita Elementmetoden) analyser har genomförts för att undersöka förtida sprickbildning i en ånglåda tillverkad av P91 från Storbritannien. Både positioner för skadebildning och en kryplivslängd liknande den verkliga kunde förutsägas med hjälp av analyserna.

Dessutom visades det att komponentens geometri har stor betydelse i sammanhanget. En kombinerad kryptöjnings- och krypskademodell baserad på Wilshires krypsmodell och Rice och Tracys modell för begränsad kavitetsstillväxt utvecklades för X20 och användes för livslängdsbedömning av en ånglåda tillverkad av X20. Modellen visade en god förmåga att förutsäga vid vilka positioner skador och sprickor kommer att utvecklas.

3.3.3 Handbok – Statusbedömning av polymera material i rökssystem, rapport 1165 samt 1195

I dagens värme-/värmekraftverk med avancerade energiåtervinningssystem och bättre rökgasrening används i allt större utsträckning polymera material, framförallt glasfiberarmerad esterplast (GAP), men även glasflakefyllda beläggningar, PP (polypropylen) och fluorplaster. Kunskapen om hur driftförhållanden och deras förändringar påverkar polymera material är generellt bristfällig, samtidigt som välplanerat underhåll blir allt viktigare för att minimera driftkostnaderna. Ur ett ekonomiskt och ekologiskt perspektiv finns samtidigt krav på ett maximalt utnyttjande av material i processkomponenterna för att öka livslängden. För att öka förtroendet för användning av polymera material i processutrustning är det därför viktigt att utveckla verktyg för bättre statusanalys och att sammanställa erfarenheter om polymera materials långtidsegenskaper, som underlag för status- och livslängdsbedömningar.

Resultaten har sammanställts i en handbok som riktar sig till framförallt till anläggningsägare och driftpersonal på förbränningsanläggningar och inom cellulosaindustrin. Prover från avställda anläggningar och anläggningar i drift har samlats in. Inverkan från processer där det har doserats svavel har undersökts och även studerats i fältförsök.

Ett inledande *kapitel 2* beskriver typiska polymera material (GAP, PP, PVC= polyvinylklorid, fluorplaster och flakebeläggningar) för användning i rökgasreningssystem samt de korrosionstyper som kan förekomma.

Kapitel 3 sammanställer erfarenheter och kunskap kring användning av polymera material i rökgasreningssystem. *Kapitel 4* behandlar specifikt polypropenmaterial i rökgasreningssystem. *Kapitel 5* redovisar resultaten från undersökningen av olika oförstörande provningsmetoder för processutrustning i polymera material. Deras för- och nackdelar samt begränsningar är beskrivna. I *kapitel 6* behandlas förfarande för inspektion och statusbedömning av processutrustning i nyskick och efter användning. Det hänvisas även till regelverk kring besiktning och inspektion av processutrustning.

Kapitel 7 beskriver åtgärder för ökad livslängd med hänsyn till reparation och beläggningar på stålytor. I *kapitel 8* ges allmänna rekommendationer kring upphandling och materialval. Slutligen ger *kapitel 9* en utblick riktad framförallt mot statusen av oförstörande provningsmetoder idag och i framtiden.

I *bilagorna* finns ytterligare information kring mer detaljerade resultat från undersökning av prov från avställda anläggningar och fälttester. Utvalda oförstörande provningsmetoder redovisas mer i detalj.



Figur 42. Omfattande delamineringsskador i GAP laminat där delaminering har skett både i spärretsiktet (nederst) och i styrkelaminatet nära spärretsiktet (mitten).

Figure 42. Extensive delamination damage in FRP. Delamination occurred in both the barrier layer and in the structural laminate.

3.3.4 Förlängda driftperioder mellan underhållsstopp, rapport 1137

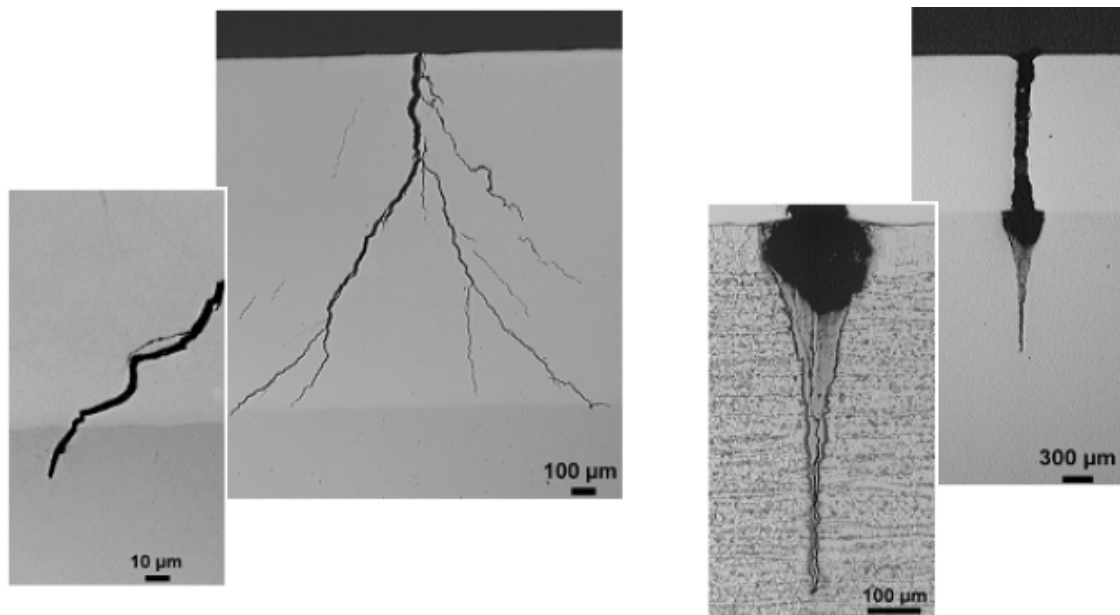
Svensk skogsindustri har en gemensam ambition att förlänga driftintervallet mellan större besiktning- och underhållsstopp till två år för de anläggningar där så är möjligt. I AFS 2005:3 finns föreskrivet villkoren för att klara en sådan förlängning ur ett säkerhetsperspektiv. Därtill ska det vara ekonomiskt försvarbart och praktiskt genomförbart med avseende på igensättning/behov av rengöring. Genom en litteraturstudie och att intervjua fyra olika anläggningar av varierande ålder, processer och produkter har ett underlag tagits fram med avseende på:

- Kritiska komponenter
- Driftstopp
- Konsekvens av stopp
- Igensättning
- Behov av kortstopp
- Bevakning
- Materialval hos kritiska komponenter

För varje medtagen komponent har en expertbedömning gjorts rörande möjliga skademekanismer. Litteraturstudien belyser de mest kritiska skadeproblemen i sodapannan och hur de kan åtgärdas.

En metodik för de utredningar som behövs för att uppfylla myndighetskraven har etablerats. Samma metodik kan användas för att utreda krav på igensättning och driftproblem som inte är säkerhetsrelaterade.

Genom systematisk riskanalys av det underlag som tagits fram i intervjuerna kan det fastställas vilka komponenter i respektive anläggningsdel som behöver granskas närmare. I första hand utreds pannorna och sedan övriga fabriken, inte minst med avseende på de parametrar som påverkar skadebildningen (korrosion, sprickbildning) i sodapannan. Driftfönster tas fram som anläggningen måste hålla sig inom och provtagning utförs i syfte att hålla skadebildningen på en acceptabel nivå.



Figur 43. Metallografiska studier av sprickor i omkretsled i compoundtuber intill primärluftportar på placering av provtagningspunkter

Figure 43. Metallographical studies of circumferential cracks in composite tubes at primary air ports

Det kan konstateras att kritiska komponenter med avseende på förlängda driftintervall i många fall är olika i olika bruk. Det gäller flertalet anläggningsdelar. I sodapannan har de komponenter som framstår som problemfyllda i litteraturen inte särskilt hög skadefrekvens i de fyra intervjuade anläggningarna.

En slutsats man kan dra av detta är att det finns många, ur olika aspekter, problematiska komponenter och typer av problematik som är unika för den enskilda anläggningen - god kännedom om anläggningen krävs sannolikt för att fånga upp all problematik som behöver utredas för ett förlängt driftintervall.

En utökning av besiktningintervall för pannan till 2 år medför ett ökat risktagande. Därför krävs åtgärder för att minska risknivån, vilket kan göras på två sätt:

- Minska sannolikheten för haveri
- Minska konsekvensen av ett haveri

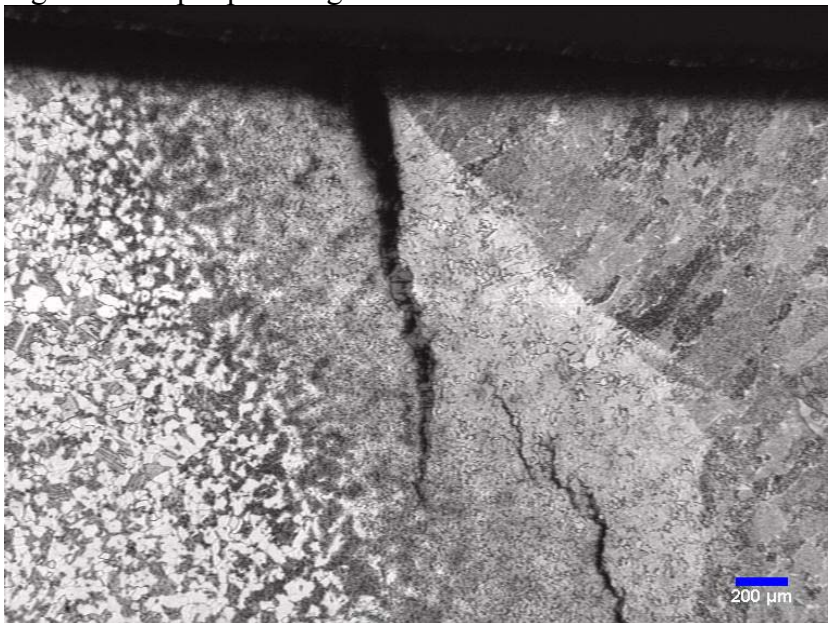
Sannolikheten för haveri kan minskas genom utökade provningsinsatser och analyser i form av beräkningar och metallografiska undersökningar av högt påkända eller skadade komponenter.

3.3.5 Kartläggning av krypskador i ett T-stycke från ett utrangerat ångnät med drifttemperaturen 450°C, rapport 1118

Oväntade haverier och sprickbildning har på senare tid inträffat i ångledningarna genom krypning fastän drifttemperaturen har varit signifikant under gränstemperaturen. Karaktärisering av sådan skadebildning, kartläggning av förekomsten hos svenska anläggningar och ökad kunskap om förutsättningarna för fenomenet har erhållits i tidigare Värmeforskprojekt (Värmeforskrapporterna 978 och 1032). I dessa projekt har även rekommendationer för hur dessa ångsystem bör hanteras med avseende på drift, underhåll, besiktning, provning samt bedömning av skador och dess koppling till återkommande provning.

I en ångledning som aldrig har replikprovats och där drifttiden varit 35 år och drifttemperaturen varit 450°C, dvs. 30°C under gränstemperaturen, vid ett tryck på 65 bar påträffades krypsprickor och viss förekomst av mikrosprickor samt krypkaviteter påträffades, särskilt i ett T-stycke, vilket hade en annorlunda materialsammansättning än övrigt material vilket gynnade tillväxten.

Detta T-stycke har i föreliggande projekt skurits ned och 10 tvärsnitt av svetsarna har studerats metallografiskt i syfte att studera krypskadornas fördelning inuti godset och avgöra om replikprovningen har varit en konservativ eller en icke konservativ metod.



Figur 44. Krypsprickor i svets

Figure 44. Creep cracks in weld

Det har tidigare inte genomförts en metallografisk studie som omfattar ett helt T-stycke som varit i drift vid 450°C, vilket är en mycket vanlig förekommande drifttemperatur inom skogsindustrin, där krypsprickor konstaterats genom replikprovning.

Bortsett från sprickor upptäcktes inga krypskador. Det kan konstateras att mikrosprickor och den kavitetsbildning som observerats vid replikprovningen var yttlig till sin förekomst. I övrigt erhöles inga resultat som står i strid med tidigare rekommendationer.

3.3.6 Miljöinverkan på LCF-egenskaper vid långa drifttider hos superlegeringar, rapport 1223

Det är allmänt vedertaget att det finns en negativ inverkan från korrosiva ämnen på utmattningsegenskaperna hos Nickelbas-material även vid förhållandevis måttliga temperaturer (400-600°C) men detta har sällan studerats i noggranna laboratorieförsök. Interaktion mellan t.ex. syre och mekaniska spänningar i en sprickspets kan ge upphov till försprödningsmekanismer som kan vara förödande för materialets egenskaper.

Inverkan från SO₂ (i gasfas) och vattenånga på lågcykelutmattningsegenskaperna (LCF) har undersökts vid temperaturer kring 500°C för 3 olika smidda nickelbaslegeringar (Nimonic 901, Inconel 718 och Alloy 718plus).

Syftet har varit att undersöka känsligheten för miljöinverkan på egenskaperna hos turbinskivor vid relativt långa drifttider. Laboratorieförsöken har dock accelererats genom förhöjda temperaturer och högre halter av korrosiva ämnen. Lågcykelutmattningsförsök har utförts vid olika temperaturer och i olika miljöer. Brott beteendet hos dessa prover har studerats med hjälp av SEM.

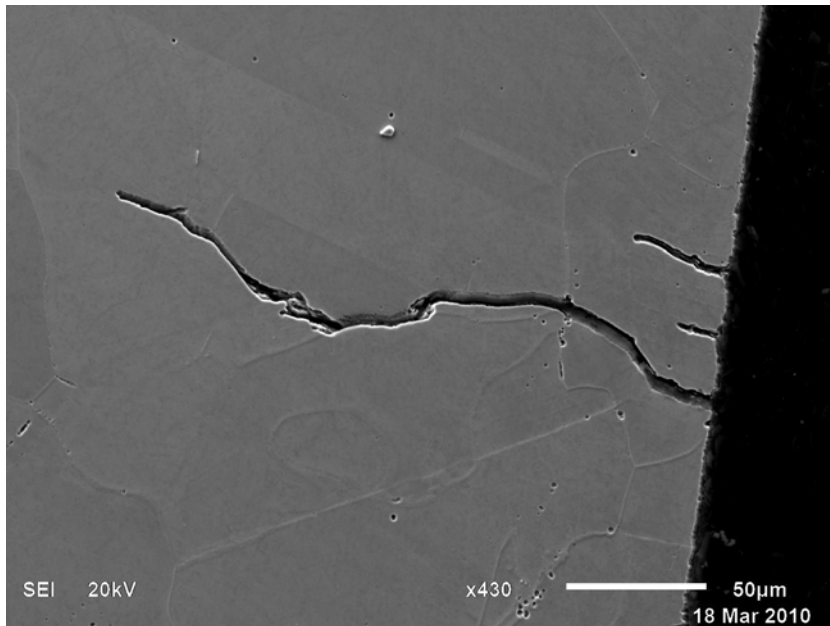
Från studien har följande slutsatser dragits:

Det finns en negativ effekt av SO₂ + vattenånga redan vid korta exponeringstider och så måttliga temperaturer som 450° C. Den negativa effekten ökar med temperaturen. Det är även troligt att det finns en negativ effekt vid ännu lägre temperaturer om drifttiderna är tillräckligt långa.

Den negativa effekten av SO₂ + vattenånga ger upphov till minskad motståndskraft mot cyklisk plastisk deformation samtidigt som brottbeteendet övergår från transkristallint till interkristallint.

Inconel 718 verkar vara mest känslig för miljöinverkan. Denna legering har från början ett mycket bra motstånd mot lågcykelutmattning i luft och klarar sig i en jämförelse även bra i de försök som har gjorts i miljö i denna studie, även om miljöfaktorn var störst för denna legering.

Den största negativa effekten av SO₂ + vattenånga ses för höga töjningsomfång och få antal cykler till brott, även om detta innebär den kortaste totala exponeringstiden. Förklaringen är att det skyddande oxidskikt som bildas på provstavens yta bryts upp i korngränserna för prov med högt töjningsomfång. När detta sker kan syre och svavel diffundera in i materialet längs korngränserna och orsaka försprödning av korngränserna.



Figur 45. Transkristallint brottbeteende i Nimonic 901 vid provning i SO_2 + vattenånga vid 450°

Figure 45. Transcrystalline fracture appearance in Nimonic901 tested in SO_2 + water vapour at $450^\circ C$

3.3.7 Normstudie gällande lastvariation för rörupphängningar, rapport 1124

Bakgrunden är att rörkonstruktörer har olika syn på hur viktigt det är att uppfylla den rekommendation som behandlar rörupphängningarnas lastvariation. Den nya europanormen EN13480 bringar tyvärr ingen klarhet då den är otydlig när det gäller krav på lastvariation.

Målet med projektet är att skapa riktlinjer för rörkonstruktörer som är så tydliga att de kan fokusera på annat än hur stor lastvariation som skall tillåtas. I förlängningen är målet att erhålla mer ekonomiska rörsystem, färre haverier, längre livslängd etc.

Olika lastfall studerats teoretiskt och olika tillverkare av fjäderupphängningar och konstruktörer i bl.a. Danmark har besökts.

Slutsatser från undersökningarna:

För enkla, normala rörsystem gäller att rekommendationen på max 25 % lastvariation bör uppfyllas för fjäderhängare, det är ett slöseri med rörets hållfasthet och därmed livslängd, att välja en lastvariation som är större.

För större rörsystem bör en kontroll göras av hur känsligt röret är för varierande vikt, eftersom rörtjockleken kan variera med 13 % och ibland ännu mer beroende på toleranser och korrosion m.m. Att hänga ett stort system enbart i konstanthängare kan förefalla bra i den teoretiska beräkningen men i praktiken medför det att någon eller flera av hängarna bottenar uppåt eller nedåt. Det kan dessutom ibland vara nödvändigt att låta enstaka fjäderhängare ha en styvhet som ger mer än 25 % lastvariation.

För rörsystem utsatta för krypning krävs extra försiktighet med t.ex. konstanthängare som har dålig förmåga att anpassa last efter verklig vikt i sådana fall kan det vara fördelaktigt att välja en fjäder med t.ex. 30 % lastvariation som snabbare ger en anpassning till rådande vikt.

Av ovanstående resonemang framgår att kravet i ASME B31.1 "Load calculations shall be based on the design operation conditions of the piping" är fullt naturligt och borde finnas med i EN13480 och alla andra rörnормer, åtminstone för rör i krypområdet.

Rörsystem i krypområdet kräver särskild försiktighet eftersom det i t.ex. EN13480 och RN1978 inte tas hänsyn till lastkombinationer med både krypning och växlande last.

3.3.8 Förebyggande underhåll och livslängdsbedömning med avseende på cyklisk drift, rapport 1178

Status inom området cyklisk drift av kraftvärmeverk har sammanställts i en litteraturstudie i Värmeforsk regi (Värmeforskrapport 1025). Utmattnings och krypning omfattas i de flesta regelverk och procedurer. Miljöinducerad sprickbildning i form av töjningsinducerad korrosionssprickning (SICC) har dock inte studerats i någon större omfattning samtidigt som den är vanligt förekommande i vattensidig pannmiljö och dessutom påverkas av cyklisk drift.

Projektets mål har varit att ta fram förbättrade metoder för förebyggande underhåll och bedömningar av återstående livslängd av utsatta komponenter i anläggningar som utsätts för cyklisk drift i kraftvärmeverk.

Detta har studerats genom att:

Studera procedurer för bedömning av utmattnings, kryputmattnings, korrosionsutmattnings (CF) och töjningsinducerad korrosionssprickning (SICC).

Många av dessa har utvecklats inom kärnkraften

Redogörelse för Europannormer med avseende på cyklisk drift

Studera erfarenheter/skadefall av cyklisk drift med avseende på termisk högcykelutmattnings, kryputmattnings, SICC, CF och spänningskorrosionssprickning (SCC)

Resultat:

Erfarenheten pekar på att SICC, töjningsinducerad korrosionssprickning, är ett stort problem i ångdomar och i ångackumulatorer. Det är i regel fråga om långsamt växande sprickor som är förknippade med starter och stopp av anläggningen. Vid cyklisk drift kan det därför befaras att denna sprickmekanism orsakar kritiska skador efter betydligt kortare drifttider än vad som är typiskt idag.

Analys av ett antal skadefall pekar på att spricktillväxthastigheten är beroende av hur höga de lokala spänningarna är där sprickorna uppstår och en korrelation för detta samband har visats. Beräkning av spänningsintensitetsfaktorn K_I för de vanligaste

sprickgeometrierna resulterade i en närapå linjär korrelation mellan K_I och spricktillväxthastighet. Detta samband överensstämde relativt väl med de spricktillväxthastigheter som erhållits vid laboratorieexperiment.

Följande komponenter har särskilt studerats med avseende på förebyggande underhåll och livslängdsanalys: ångdomar, ånglådor, ångackumulatörer och ventilhus. Förekommande skademekanismer och tillväxtlagar som påverkas av cyklisk drift samt de vanligaste materialen har sammanställts för var och en av dessa komponenter.

Till detta har dessutom lagts rekommendationer rörande oförstörande provning, provningsintervall mätning, övervakning och spännings- och brottmekanisk analys tillagts. Tillsammans ger detta en rekommendation för förebyggande underhåll och livslängdsanalys med avseende på cyklisk drift.

3.3.9 Krypspricktillväxt under gränstemperaturen för krypning i driftpåkända svetsar av 13 CrMo 4 4, rapport 1207

Projektet har visat att krypning och krypsprickpropagering (CCG) förekommer i svetsade komponenter tillverkade av 13 CrMo 4 4 (1Cr0,5Mo) som används till ångnät inom skogsindustrin med drifttemperaturer under gränstemperaturen för krypdimensionering (450°C). Krypbrott har observerats vid krypprovning av grundmaterial, svetsgods och simulerad grovkornig värmepåverkad zon (SCGHAZ). Compact tension (CT) provstavar har framgångsrikt konstruerats där spricktillväxten sker i grovkornig HAZ från en autentisk svets. Resultaten från ett sådant test har visat sig vara både användbara och informativa.

Den grovkorniga delen av HAZ är känslig för krypsprickor och krypspricktillväxt. Dessutom gynnas spricktillväxten av att initialdefekter är frekventa i svetsarnas smältgränser alldeles intill den grovkorniga delen av HAZ. Den experimentella krypspricktillväxten omfattar tre faser: inkubation, konstant tillväxt och accelererad tillväxt, där inkubationsperioden och konstanta tillväxten dominerade.

SCGHAZ erhöll de längsta brottiderna vid krypförsöken. Tendensen vid lägre spänning och längre brottider än de provade är dock att SCGHAZ skulle få kortare brottider än grundmaterial och svetsgods. Det vore därför värdefullt att genomföra krypprovning under en längre tid i syfte att klarlägga vad som sker under verkliga förhållanden. Data från provning av SCGHAZ är av stor betydelse vid beräkningar av CCG.

Resultat från provning med CT provstavar kan jämföras med beräknade sprickpropageringshastigheter baserat på data från krypprovning. Simuleringar av CCG i ett T-stycke med nominell godstjocklek indikerar att oförväntade krypbrott kan inträffa redan med relativt små systemspänningar. Krypsprickpropagering kan förekomma i T-stycken med dubbelt så stor godstjocklek som den nominella. Det skulle dock behövas höga systemspänningar och även under sådana förhållanden skulle det ta betydligt längre tid än en anläggnings verkliga livslängd för att ett brott ska uppstå.

Kritiska komponenter som svetsar, böjar, T-stycken och där systemspänningar kan uppstå i övrigt bör inspekteras med erforderlig noggrannhet och regelbundenhet. Föreliggande studie pekar på att kunskap och förståelse för krypning vid låga temperaturer måste uppdateras och fördjupas.

3.3.10 Bedömningsunderlag för när kemisk rengöring är lämpligt för pannor, rapport 1202

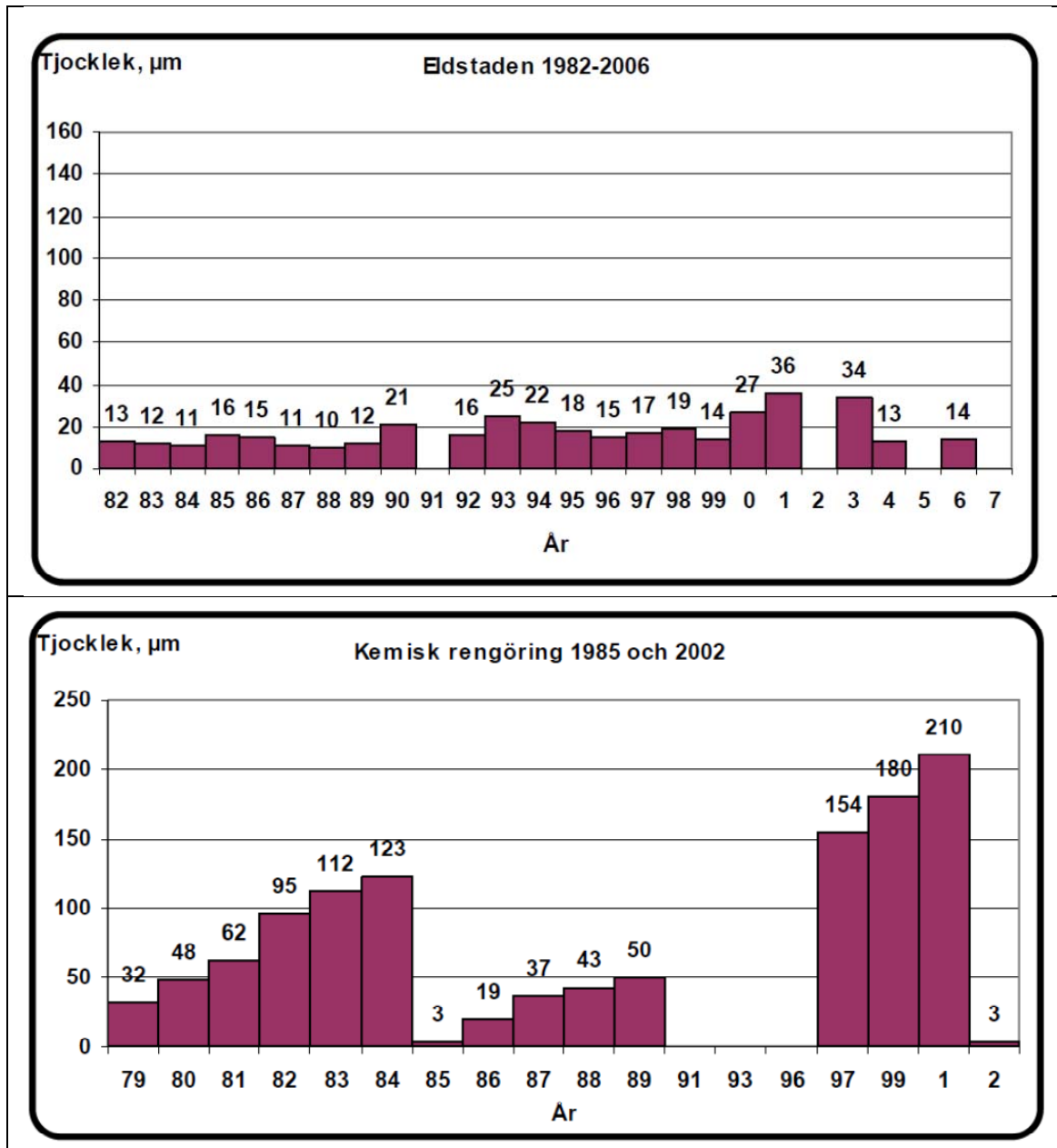
Med tiden bildas beläggningar med varierande kemisk sammansättning i vatten- och ångsystem, främst i delarna med hög värmebelastning. De kan så småningom leda till skador på tuberna på grund av invändig och utvändigt korrosion samt överhettning av tubmaterialet. För att undvika att skador uppstår brukar man genomföra en s.k. kemisk rengöring, d.v.s. lösa upp beläggningarna med starka syror.

Det finns kriterier som kan användas för att utgående från ett underlag om tillståndet i panntuberna m a p beläggningar besluta om det är dags att rengöra, men kriterierna förefaller inte alltid användas.

Projektets mål har varit att ta fram ett bedömningsunderlag som skall ge stöd och vägledning till anläggningsägare om när det är lämpligt att kemiskt rengöra en panna.

Undersökningen visar att det är väldigt få pannor i Sverige som gör kemisk rengöring utan man försöker i allmänhet hålla ett högt proaktivt underhåll genom att hålla vattnet på hög kvalitet och korrigerar avvikelser snarare än tillståndsbaserat underhåll.

Det faktaunderlag om beläggningar och tubprover som finns vid svenska anläggningar är mycket magert. Ett bättre underlag om konsekvensen av beläggningar behöver tas fram. Kriterierna som används är i stor utsträckning erfarenhetsbaserade och konservativa. De innehåller troligen säkerhetsmarginaler som behöver belysas, t ex genom detaljerade undersökningar av beläggningar och deras fördelning i en panna.



Figur 46. Uppföljningen av beläggningstjockleken i två pannor: i övre diagrammet har pannan inte behövt rengöras och i nedre diagrammet har tillväxten varit sådan att pannan rengjorts två gånger, 1985 och 2002

Figure 46. Monitoring the thickness of scale in two boilers: it has not been necessary to clean the boiler in the upper diagram, and the growth of the scale in the boiler in the lower diagram has been such that the boiler was cleaned twice, in 1985 and 2002

3.3.11 Glatta ytor: En genomgång av glatta ytor som teknik för att stå emot bildning av beläggningar på värmeöverförande ytor, rapport 1232

Det höga innehållet av alkali (kalium och natrium) och klor i avfall och biobränsle leder till drift- och underhållsproblem genom bildning av påslag och efterföljande korrosion på överhettare i förbränningsanläggningar. Detta projekt handlar om interaktioner på överhettartubers ytor vid förbränning av avfall och biobränsle. En genomlysning av tekniker som kan användas för att skapa glatta tubbytor i pannor presenteras. Glatta ytor skall förhindra eller fördröja bildning av påslag.

Påslag består av askelement från bränslet. Vid överhettare är kaliumklorid särskilt kritiskt och vid avfallsförbränning bidrar natriumklorid. Även bly och zink kan vara betydelsefulla. Hög koncentration av svavel i bränsle och därpå följande rökgas är istället positivt eftersom alkalisulfater kan bildas och de är inte lika klubbiga och korrosiva som motsvarande klorider.

Man kan minska påslag genom att behandla en ståltub med en beläggning som är keramisk eller med keramisk kompositbeläggning, så att ytan blir glatt. Den stora utmaningen vid keramisk beläggning av ståltuber är skillnader i termisk utvidgning av keramiskt och metalliskt material vid uppvärmning. Det leder till sprickor eller termisk chock med avskalning och andra problem.

Olika keramiska material kan skraddarsys för att minimera termisk utvidgning (CTE - Coefficient of Thermal Expansion) och medföljande problem, men än så länge är de inte tillräckligt inerta i förbränningsmiljöer.

Termisk chock är oundviklig, men konsekvenserna kan minimeras genom att sprida ut spänningar. Det kan göras genom att med hjälp av legeringslager binda keramiskt material till tubmaterialet. Man kan använda komposit-keramer vilka innehåller partikulärt material med modifierad CTE och mer nanostrukturerade system som har mycket fina fibrer för homogen spänningsöverföring, mineralfibernetverk för flexibilitet och styrka, och till slut få en viss nivå av porositet som klarar volymförändringar utan att krackelera.

I beläggingsmaterial som står emot termisk chock väl har nano- och mikrostrukturer en avgörande betydelse. När man gör keramiska beläggingsmaterial kompatibla med stål uppstår oundvikligen porositet, nano- och mikrostrukturer som gasformig alkaliklorid kan diffundera in i. Det kan orsaka problem om struktursystemen är sammankopplade, vilket sannolikt är fallet i dagens material. Det kan också uppstå problem med porer och ledning av alkali-ånga vid tillverkning av keramiska beläggingsmaterial med slamgjutning.

Fördelningen av porer i en keramisk beläggning som står emot termisk chock innebär sannolikt nanoporös struktur. Kelvin-ekvationen säger att KCl kondenserar in i dessa porer, väl under mättnadstryck för KCl i gasbulken, så vätskeformig KCl stabiliseras även vid högre temperaturer. Vidare så stabiliseras dessa vätskor av små porer. På så sätt stabiliseras vätskor vid mycket lägre temperaturer i den keramiska beläggningen på

panntuben. Sammanfattningsvis så kondenserar KCl i porer med hjälp av kapillär kondensation, trots att KCl är i gasfas vid den aktuella rökgastemperaturen och de små porerna kommer också hjälpa till att transportera KCl mellan keramisk beläggning och ståltub.

Slutsatsen är att bästa metoden för att minimera påslag och korrosion med hjälp av keramisk beläggning, och upprätthålla livslängden för en keramisk beläggning är att använda keramisk nanokomposit som är resistent mot termisk chock med ”tie layer” till ståltub. Mer arbete behövs för att förstå den exakta ytkemin för alkaliklorid och interaktioner i sprickor och mikrostrukturer med hänsyn till olika keramiska lager. Ett idealt material skulle innebära en keram med modifierad CTE, ett ”tie layer” för kohesion, stängd porositet och termisk och kemisk inert i överhettarmiljö.

3.3.12 Status, kvarvarande livslängd och kvalitetssäkring av PP-material i anläggningar för rening och kondensering av rökgaser, rapport 1194

Polypropenmaterial (PP) är attraktivt att använda i metallkorrosiva miljöer eftersom det är jämförelsevis mycket billigt och korrosionshårdigheten god. Detta har medfört att användning av PP i bland annat anläggningar för rening och kondensering av rökgaser har ökat påtagligt under senare år. I anläggningar för sopförbränning, som är under stark utbyggnad, förekommer förhållandevis mycket PP-material i rökgasreningsanläggningar med kringutrustning.

Projektet har avsett att ge en ökad förståelse för hur livslängden hos PP-material påverkas i olika anläggningar för rening och kondensering av rökgaser och utgöra underlag för framtagning av relevanta metoder och metodik samt utarbetande av råd och anvisningar för att kvalitetssäkra PP-material för en viss önskad livslängd, och för att kunna bedöma status och kvarvarande livslängd hos PP-material i aktuella komponenter i förbränningsanläggningar.

Resultat och Slutsatser

Det har visat sig att korrosionsangrepp är relativt ovanliga och att de faktorer som främst begränsar användandet och livslängden av PP är de termiska egenskaperna (värmeutvidgning och värmedistorsion). Urlakning av stabilisatorer ur materialet är också vanligt förekommande men endast ett fåtal fall av oxidativ nedbrytning till följd av detta har observerats.

Ingen kan idag förutsäga ett PP-materials livslängd med avseende på nedgång i mekaniska egenskaper i relation till förlust av stabilisator och termooxidativ nedbrytning under vissa givna förutsättningar vad avser initial stabilisering av materialet och driftsparametrar såsom temperatur och exponeringsmiljö.

Idag använder vi ofta OIT (oxidation induction time) som ett mått på kvarvarande stabilisatorhalt och även på kvarvarande livslängd. Ett högt värde betyder lång kvarvarande livslängd och ett lågt en kort. Här har OIT-metoden, som tidigare varit den som oftast använts för att bedöma kvarvarande livslängd med avseende på

stabilisator-koncentration, jämförts med FTIR och FTIR line-scan. Det visade sig att framförallt den sistnämnda metoden ger en tydligare och fullständigare bild av kvarvarande stabilisatorhalt och har potential att bli ännu känsligare med ytterligare metodutveckling. Ingen av metoderna kan dock ge en helt tydlig indikation på kvarvarande livslängd. Kopplingen mellan stabilisatorhalt och tiden till haveri av en PP-komponent är långt ifrån känd. Resultaten från metodutvecklingen är intressant inte bara för användandet av PP i rökgasreningssammanhang utan för alla miljöer som PP används i. En vidareutveckling av FTIR line-scan tekniken kan ge helt nya möjligheter för livslängdsstudier.



Figur 47. Korrosion i ett PP-rör som används 17 år för blandsyra (20wt% HNO₃ och 4wt% HF)

Figure 47. Corrosion in a PP-pipe which has been used for 17 years for mixed acid (20wt% HNO₃ och 4wt% HF)

3.4 Kunskapsluckor

Inom Material- och kemiteknik finns behov av kunskaper inom följande områden:

- Utvärdering av material och ytbeläggningar anpassade till nya bränsletyper samt till ökade anläggningsprestanda; högre förbränningstemperatur i pannor och gasturbiner, högre ångdata.
- Utvärdering av material för eldstad/inmurning/kokytor för både metalliska material och keramiska infodringar.
- Material och ytbeläggningar som kan användas vid lägre rökgastemperatur vid eldning av olika bränslen; ångtemperaturkorrosion.
- Utvärdering av material för rökgasrening och rökgaskondensering vid eldning av olika bränslen.
- Utvärdering av material för bränslehanteringsutrustning.
- Anpassning till nya miljökrav; EU-direktiv, nationella miljökrav.
- Utvärdering av miljökonsekvenser, ny teknik och nya processer, materialval och kartläggning av problem vid ökad slutning av vattensystem; utsläppens fördelning mellan vatten, luft och restprodukter.
- Förslag till behandlingsmetoder för restprodukter från vatten/rökgasrening.
- Teknik för rening och återvinning av rökgaskondensat.
- Material- och kemitekniska frågor vid rökgaskondensering.
- Effekten av åtgärder för att minska emissioner som kväveoxid, svaveloxid och koloxid relaterat till korrosion och beläggningar.
- Konsekvenser av ökande miljökrav på små bioeldade anläggningar; gäller speciellt för problem som skiljer sig från stora anläggningar, t.ex. speciella korrosionsproblem, reningsteknik, emissioner.
- Materialfrågor vid småskalig kraftvärmeproduktion.
- Skademekanismer vid krypning.
- Material och korrosionsmekanismer i områden med låg temperatur (50-200°C) vid eldstadskorrosion och i SCR-anläggningar.
- Nya metoder för livslängds- och konditionsbedömning (både metoder för oförstörande provning och förstörande provning).
- Underhåll/reparation av belagda ytor samt beläggingsavvisande ytor på rökgassidan.
- Utveckling av övervakningsmetodik för ökad tillgänglighet.
- Verifiering av online-instrument för korrosionsövervakning på rökgassidan.
- Rekommendationer för kvalitetssäkring vid kemiövervakning med online-analysatorer.

- Inverkan av utformningen av provtagningssystemet vid kemiövervakning av vatten/ångcykeln.
- Konditionering av vatten/ångcykeln och konditioneringsmedlens inverkan på korrosion i ång- och vattenkretsen inklusive riktlinjer/rekommendationer för detta.
- Metoder för avgasning av vatten utan ånga.
- Utformning av oönskad kemiövervakning framtvungad av reducerad bemanning.
- Utredning av konsekvenser av cyklisk drift.
- Utredning kring lågtemperaturkorrosion i anläggningar utrustade med SNCR.
- Utvärdering av flytande och gasformiga biobränslen för gasturbiner.
- Material- och ytbeläggningar för gasturbiner vid eldning av biobränslen framställda genom förgasning.
- Gasrening i biobränsleförgasningsanläggningar (särskilt hetgasrening).
- Material- och kemifrågor i energikombinat, kopplade till hybridkombicykler och absorptionskylmaskiner.

3.5 Slutsatser

Teknikområdet har bidragit till att uppfylla 7 av Värmeforsks 9 delmål. Av de genomförda projekten avser 11 projekt bränslerelaterade material- och kemifrågor, 13 projekt handlar om tillgänglighets- och livslängdsfrågor, 4 miljörelaterade material- och kemifrågor.

Projektet har bidragit till att identifiera lämpliga material för ångdata upp till 600 °C för olika bränslen och det finns en rekommendation om vilka material som är lämpliga att använda i överhettarna vid högre ångdata. Före 2015 ska det finnas behövlig kunskap för att kunna köra anläggningar med förhöjda ångtemperaturer. För pannor eldade med biobränsle är målet att kunna höja den utgående ångtemperaturen till 600°C. För returflis (RT-flis) är motsvarande mål 550°C, för avfallspannor siktar man mot 500°C och målet för sodapanor är att uppnå en utgående ångtemperatur på 540°C.

En helt ny metod för on-line mätning av rökgaskorrosion av pannrör och överhettarrör redovisas. Även teknik för mätning av korrosionshastigheten vid höga temperaturer har utvecklats. Eldstadskorrosion är problem hos avfalls- och bioeldade pannor som bidrar till ökade driftkostnader. Olika skydd mot eldstadskorrosion har studerats i syfte att lyfta fram de metoder och material som fungerar bäst. Särskilt har påsvetsning, som ett relativt billigt alternativ till compoundrör, studerats.

Möjligheten att förlänga livslängden i gasturbinkomponenter som eldas med biobaserade bränslen har studerats.

Ett väl utvecklat system för provtagning kan minska drift- och underhållskostnader. Rekommendationer har tagits fram för hur provtagningssystem för processvatten kan/bör utformas för att man ska erhålla representativa prover.

En utmärkt sammanställning av kunskapsläget om kondensatrening med membranteknik omfattar uppföljning och utvärdering av erfarenheter vid tio biobränsleeldade anläggningar och samförbränningsanläggningar. En omfattande studie avseende processutformning och reningsteknik av ämnen som faller under EU:s vattendirektiv har genomförts.

En lättillgänglig handbok om erfarenheter med avseende på prestanda för polymera material i rökgasreningssystem som riktar sig till underhålls- och driftpersonal har tagits fram.

Riktlinjer för rörkonstruktörer som är så tydliga att de kan fokusera på annat är hur stor lastvariation som skall tillåtas redovisas.

4 Processtyrning

Värmeproduktionsanläggningar styrs och övervakas idag av datorbaserade system. Styr- och övervakningssystemet utgör anläggningsägarens och operatörens verktyg för att styra och optimera anläggningen. Det är också ett verktyg för att samla in och presentera information om driftparametrar och underhållsstatus. Funktionen hos dessa system har avgörande betydelse för en effektiv drift av anläggningarna för att minimera miljöpåverkan och uppfylla säkerhetskraven.

I dag används en allt större mängd avancerad informationsteknologi i processövervakningssystem, samtidigt som komplexiteten i den övervakade processen ökar. Tekniken har därmed tenderat att bli allt mer svårförståelig och hanteringsmässigt komplicerad, då processer, samband och logik inte är enkelt iakttagbara i samma mån som tidigare. I ett kraftvärmsystem finns olika typer av anläggningar. I kraftvärmeverk produceras både värme och el med fossila bränslen eller biobränslen. Värmeverk producerar värme med fossila bränslen eller biobränsle. I värmepumpar och elpannor produceras värme med el. Ett svårt, men viktigt forskningsområde är att vid varje tidpunkt kunna optimera produktionen. Principen för de flesta lastprognosmodeller är att använda historiska data och hitta ett samband som beskriver hur värmelasten beror av väder och tid, generera en värmelastprognos genom att applicera sambandet på en väderprognos. Vädret är den faktor som har störst inverkan på lasten. Att ha tillgång till bra väderprognoser är därmed kritiskt vid värmeplanering.

Produktionsoptimering är ett viktigt område i Värmeforsks program för Processtyrning. Ett flertal projekt har genomförts som lett till att verktyg utvecklats för olika processmodeller vad gäller diagnostik, distribution, övervakning, ekonomisk analys etc.

Ett annat angeläget forskningsområde i Värmeforsks processtyrningsprogram är forskning kring människa-maskin-interaktion (MMI). Forskning inom området har lett till utveckling av system som kan förenkla för operatörerna i arbetet med effektivare styrning. I dag används en allt större mängd avancerad informationsteknologi i processövervakningssystem, samtidigt som komplexiteten i den övervakade processen ökar. En ökad automation och reducerad personalstyrka har också bidragit till problematiken. För operatören är det viktigt att utveckling sker mot ökad transparens av tekniken, samt reducering av den informationsmängd som måste hanteras, vilket är en viktig kvalitetsaspekt vid teknikutveckling.

4.1 Reglerteknik och optimering

Ökat krav på lönsamhet har drivit utvecklingen mot fjärrstyrning av allt fler anläggningar, vilket avsevärt har ökat automationsgraden. Trenden mot polygenerering och användningen av en större mångfald av bränslen ställer ännu högre krav på regelsystemet för att bibehålla en hög effektivitet och låga utsläpp under varierande förhållanden.

Driftekonomin för en värmeproduktionsanläggning påverkas starkt av yttre faktorer såsom bränslepriser, elpriser och aktuell vädersituation. Sambanden mellan dessa är ofta komplicerade och inte möjliga för en operatör att överblicka i varje stund.

Målet är att utveckla teknik och metoder för reglering och optimering av anläggningar för en bättre driftekonomi och miljö.

I Tabell 8 finns en sammanställning av projekt inom delområdet ”Reglerteknik och optimering”

Tabell 8. Projekt inom reglerteknik och optimering under programperioden 2008-2011.

Table 8. Project on control engineering and optimization in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
Behovsstyrt underhåll och operatörsstöd baserat på processmodeller /Mälardalens högskola	1231
Iterative Feedback Tuning i värmeproduktionsanläggningar /Grontmij	1153
Modellbaserad framtemperaturreglering /Vattenfall R&D	1155
Modellbaserad prediktiv reglering i BFB panna /Vattenfall R&D	1160
Styrning av SNCR med kiselkarbidsensorer /Linköpings Universitet	1205
Lastprognoser för fjärrvärme med hänsyn till scenarier och osäkerheter i vädret / Meteopolaris AB	1196
Panntemperaturreglering med explicit MPC /Grontmij	1218
Optimerad framledningstemperatur för stora fjärrvärmenät /Vattenfall R&D	1227

4.1.1 Behovsstyrt underhåll baserat på processmodeller, rapport 1231

Det finns ett stort behov av system som kan ge en tidig indikation på att problem i processer eller sensorer håller på att uppstå. Ett system som dels ska varna för fel som behöver åtgärdas direkt, och dels ge stöd för när det kan vara dags att sätta in underhållsåtgärder har utvecklats och implementerats on-line.

Själva diagnostiken av processer och sensorer görs genom att jämföra uppmätta processdata som lagrats i en processdatabas med simulerade data för samma variabler. Indata till simuleringen är dels konfigureringsdata som värmeväxlarytor, ingående komponenter och hur dessa är hopkopplade, dels on-line data som bränsleflöde, matarvattenflöde och antagande om bränslekvalitet. I framtiden tror vi att man kommer att mäta bränslesammansättningen med t.ex. NIR (Near Infra Red spectroscopy) för att bestämma både fukthalt och värmevärdet. Dessa data blir då ytterligare in-variabler till simuleringen.

Då MODELICA-modellen har konfigurerats finjusteras den mot processdata, så att olika temperaturer, flöden o.s.v. överensstämmer med "verkligheten" någorlunda väl. Sedan startas modellen och processdata som bränslekvalitet, bränsleflöde, matarvattenflöde och luftflöde matas in. Temperaturer, gassammansättning etc. beräknas och jämförs sedan t.ex. var 10e minut eller varje timme eller vilket tids spann man väljer. I denna studie valde vi såväl varje timme som varje minut.

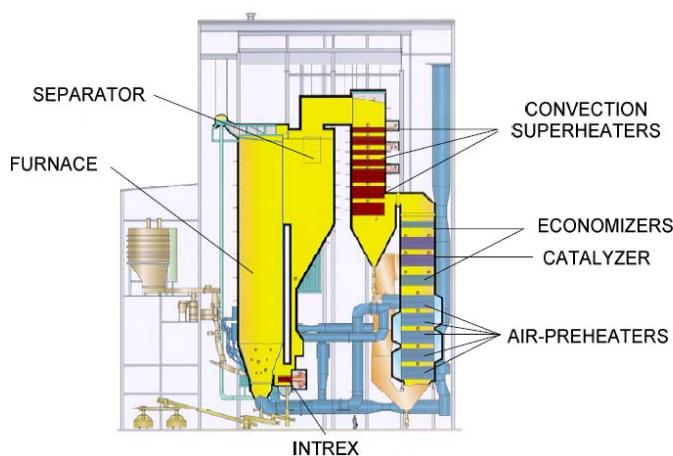
Systemet implementerades på en bibränsleldad CFB-panna vid Mälarenergi i Västerås. Körningar gjordes för att studera on-linesimuleringen under olika förhållanden under ca 2 månader våren 2010. Därefter kördes systemet on-line under två perioder med ett Bayesianskt Nätverk som beslutsstöd, varefter resultaten utvärderades.

Simuleringen kördes on-line, medan beslutsstödet med BN fick köras batchvis. Vi kunde identifiera ett antal problem under perioden och ett Bayesianskt Nätverk togs fram för 13 temperaturmätare och ytterligare några variabler. Resultaten från provet visar att det är möjligt att köra systemet on-line på ett automatiskt sätt och att få fram sannolikheten för olika typer av fel.

Det tydligaste "felet" var att bränslet brann upp i cyklonen/separatoren och inte bara nere i bädden vid flera tillfällen. Andra problem var ojämn bränslematning, som bl.a. resulterade i att temperaturavvikelser detekterades i bädden jämfört med vad som kunde förväntas vid normal drift. Vid ett tillfälle kunde problem med fukthaltsmätningen i rökgasen detekteras.

Misstänkt "onormal beläggning" på värmeväxlare i rökgaståget var ett annat "fel". Från detta kan vi dels få fram information om när det kan behöva göras direkta åtgärder, dels få fram information om när underhållsåtgärder behöver genomföras. Systemet för detta är detsamma, men med olika tidshorisont.

Denna typ av system där man kombinerar en mer avancerad fysikalisk modell med ett diagnostik- och beslutsstödsystem är så vitt vi vet inte implementerat någon annanstans i världen, även om det förekommit implementering av delar av systemet



Figur 48. Modell av en CFB-panna

Figure 48. Model of a CFB-plant

4.1.2 Iterative Feedback Tuning i värmeproduktionsanläggningar, rapport 1153

Målet med projektet är att utvärdera och därefter beskriva hur Iterative Feedback Tuning (IFT) kan användas för att ställa in regulatorer i kraft och/eller värmeproduktionsanläggningars typiska reglerloopar. Det finns endast ett fåtal praktiska studier gjorda för IFT och de är inte riktigt relevanta för kraft- och värmeprocesser. Det är just de praktiska problemen vid implementeringen av IFT samt resultatet av trimningen som är fokus för detta projekt.

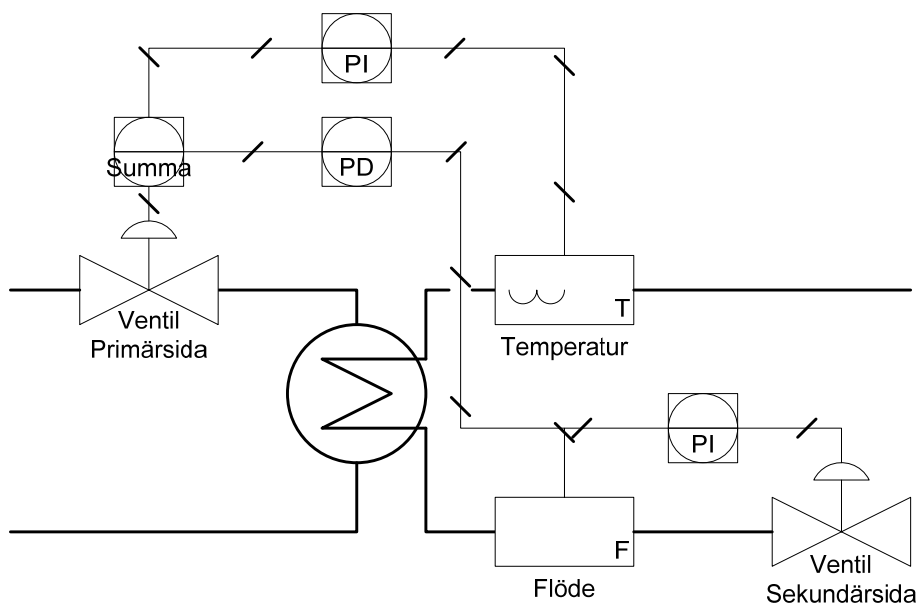
För de praktiska testerna implementeras IFT i Freelance 2000, ett styrsystem från ABB för test på en SISO- och en MIMO-process. Genom att utföra reproducerbara experiment på processen och analysera resultatet kan IFT justera regulatorparametrarna för att minimera en kostnadsfunktion som representerar reglermålet.

Projektet valde för SISO-experimenten en tryckreglering i ett oljetransportsystem. Genom att styra ventilläget på en reglerventil på återföringen till förrådstanken kan trycket i oljetransportsystemet regleras.

Den valda MIMO-processen är en förvärmare i en avgasningsprocess. I denna process används en ventil på sekundärsidan för att reglera flödet på sekundärsidan samt en ventil på primärsidan som styr fjärrvärmeflödet genom värmeväxlaren för att reglera temperaturen på sekundärsidan. Ett ökat sekundärflöde ökar värmebehovet och kräver därmed ett ökat primärflöde för att bibehålla sekundärsidans utloppstemperatur. Det är denna korskoppling som gör att processen med fördel kan betraktas som multivariabel. Med hjälp av IFT-metoden kan de två ursprungliga PID-regulatorerna och en framkopplingsregulator trimmas samtidigt.

IFT metoden var svår att implementera men fungerade bra i både simuleringar och verkliga processer. Fördelen med IFT är att regulatorparametrarna trimmas automatiskt och med bättre resultat än motsvarande manuella trimning. Däremot måste andra beräkningsparametrar väljas till rimliga värden för att IFT-metoden ska fungera, parametrar som experimenttid, startvärden på reglerparametrarna, referensmodell och gränser för reglerparametrar etc. Dessa kan bestämmas i förväg. Det finns några parametrar som är kopplade till hur optimeringen genomförs som är svårare att bestämma. Det finns dock säkra värden att börja med och efter de första fem iterationerna syns det hur man skall gå vidare.

Med IFT har vi sett att är det möjligt att effektivisera regleringen samt få bättre resultat än manuellt vältrimmade regulatorer inom kraftvärmeindustrin. Därmed kan både energi och tid sparas under processens gång. Ett enkelt överslag visar att återbetalningstiden för en IFT-trimning av en överhettarreglering troligen skulle vara mindre än ett år.



Figur 49. MIMO-processen med en PD-regulator som korskopplingsregulator

Figure 49. Model The MIMO-process with a PD-controller as cross-coupling controller

4.1.3 Modellbaserad framtemperaturreglering, rapport 1155

Höga elpriser och möjligheten att få gröna elcertifikat har under de senaste åren gjort det intressant för anläggningsägare att öka elverkningsgraden på sina kraftvärmeverk. En möjlighet att åstadkomma detta är att sänka framledningstemperaturen till fjärrvärmenätet som anläggningen försörjer. Samtidigt är det viktigt att inte leveranssäkerheten för värme äventyras.

I den här studien har en reglerstrategi för minimerad framledningstemperatur inom ramen för bibehållen leveranssäkerhet testats på fjärrvärmenätet i Nyköping. Resultatet visar att det är möjligt att sänka framledningstemperaturen med 4°C i genomsnitt under höglast, genom att låta den följa en korttidsprediktion av lasten på nätet. Samtidigt jämnas flödet på nätet ut. Simuleringar visar att man med en sådan reglerstrategi kan öka elproduktionen med 2,5 % vid höglast.

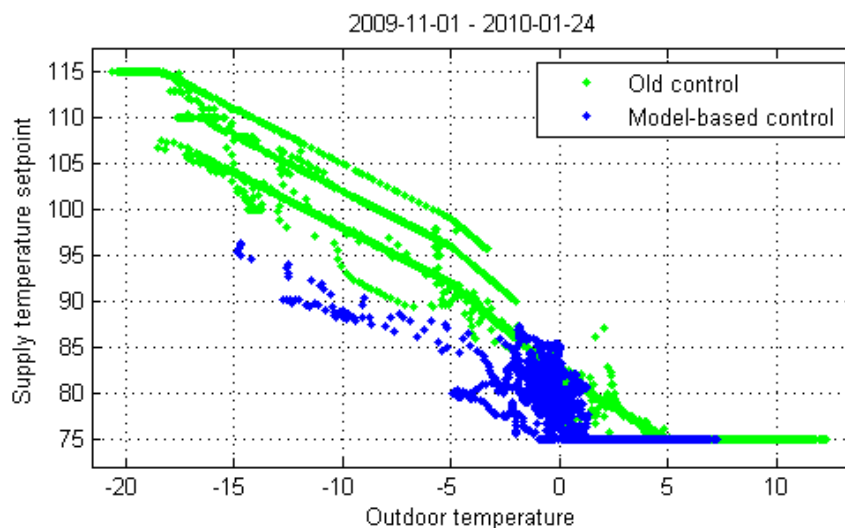
Rapporten riktar sig till anläggningsägare som vill höja sin elverkningsgrad och beskriver en modell och en reglerstrategi som möjliggör en sänkning av framledningstemperaturen och därmed leder till en högre elverkningsgrad.

Målet med studien var att testa modellbaserad framtemperaturreglering och utvärdera den med avseende på alfavärde, elproduktion och leveranssäkerhet. Testerna utfördes på Idbäckens kraftvärmeverk under 20 dagar. Efter analys av testresultaten gjordes några modifieringar av modellen.

Testresultaten jämfördes sedan med simuleringar av den modifierade modellen med mätdata från september till maj säsongen innan. Resultaten visar att framledningstemperaturen kan sänkas utan att leveranssäkerheten äventyras.

Lägsta tillåtna framledningstemperatur i Nyköpingsnätet är 75°C. Detta golv har även använts vid den modellbaserade regleringen. Vid utetemperaturer under +5°C höjs framledningstemperaturen, och det är i dessa lägen det finns utrymme för modellen att föreslå en lägre temperatur, baserad på en prediktion av lasten på nätet. Prediktionen görs med hjälp av en dynamisk lastmodell som använder data på nuvarande last, utetemperaturen samt lasten vid samma tid tidigare dygn, som underlag.

Idäcken beräknas kunna öka sin elproduktion med 1,8 GWh/år om modellbaserad framtemperaturreglering skulle implementeras. Detta motsvarar en ökad nettointäkt på 750 000 kr/år. Den största produktionsökningen skulle infalla vid utomhustemperaturer kring +2°C. Alfavärdet förbättras mer vid utetemperaturer under 0°C, men låga temperaturer är ovanliga i Nyköping, och bidrar därför inte så mycket till den sammanlagda produktionsökningen.



Figur 50. Framledningstemperaturen med och utan modell baserad temperaturreglering.

Figure 50. Supply temperature to the district heating network with and without model-based control.

4.1.4 Modelbaserad prediktiv reglering i BFB panna, rapport 1160

Huvudsyftet med projektet har varit att utvärdera potentialen för koordinerad reglering av övergripande reglerkretsar, *Master Control*, för ett fastbränsleeldat kraftvärmeverk i termer av lastföljning, stabilitet och känslighet för olika störningar. Reglerstrategin som utvärderats är modellbaserad prediktiv reglering (MPC) tillämpad på Vattenfalls kraftvärmeverk Idbäcken i Nyköping.

För att simulera anläggningens dynamiska beteende användes en olinjär fysikalisk modell som implementerats i MATLAB/SIMULINK.

Modellen var i stora delar framtagen i tidigare interna projekt inom Vattenfall, inklusive en simuleringsmodell av existerande PID-baserad reglering. Denna PID reglering användes för jämförelse av prestanda och har studerats ingående i tidigare interna Vattenfallprojekt. En turbinmodell togs fram med karakteristik baserat på simuleringar av anläggningen för stationära fall med hjälp av beräkningsprogrammet EBSILON.

En MPC-regulator togs fram med linjära modeller och *gain-scheduling* för olika lastområden. Begränsningar i styrsignaler och utsignaler implementerades för att uppfylla anläggningens krav. Efter intrimning av MPC-regulatorns parametervärden utfördes ett antal simuleringar för att utvärdera prestanda för MPC-strategin jämfört med existerande PID-reglering. Viss utvärdering görs också av MPC-regleringens känslighet för modellfel.

Några viktiga slutsatser från studien är:

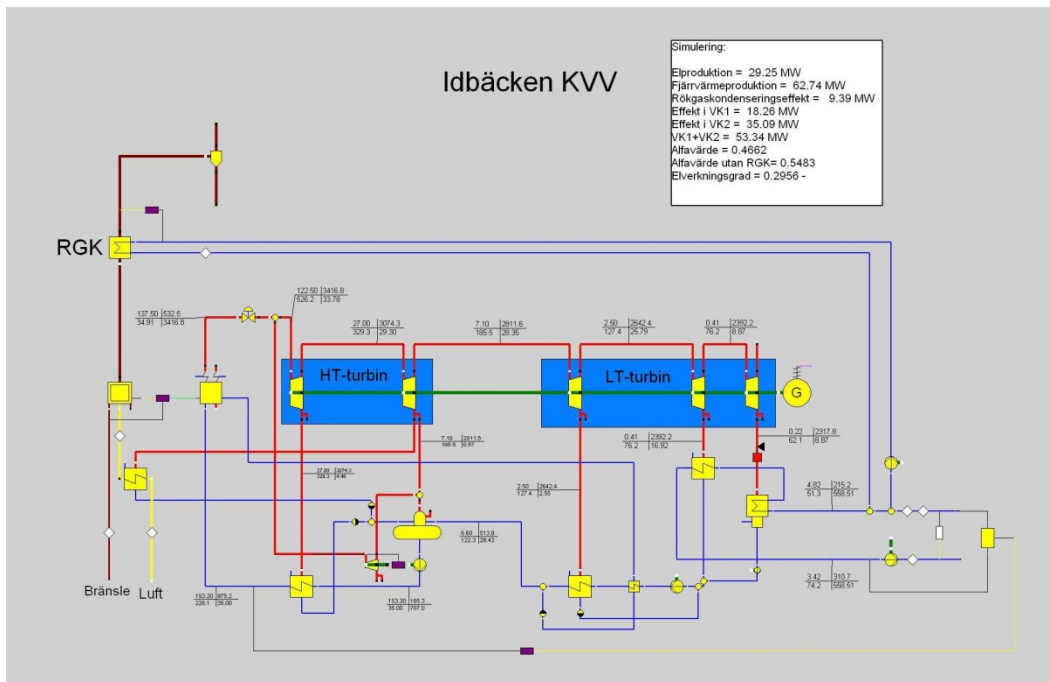
Den föreslagna Master MPC-regleringen har utmärkt prestanda att följa börvärde trots olinjär och multivariabel processmodell och trots begränsningar i tillåtna styrsignaländringar.

MPC-regleringen är robust mot störningar och modellavvikelser. Studien gör ingen omfattande analys av all tänkbara störningar och modellfel, men fallen som tas upp anses ge en bra indikation på att lösningen är robust.

MPC-regleringen kräver endast överkomlig beräkningskapacitet och bör vara möjlig att implementera i en verklig anläggning. På en standarddator är beräkningstiden för varje sampel av styrsignaler som skall ställas ut ca 40 ms, vilket är 75 gånger snabbare än samplingstiden på 3 sekunder.

Intrimningen av MPC regulatorn är i många avseenden en välkänd procedur för att t.ex. göra avvägningen mellan olika styrda utsignaler, men proceduren innefattar också en hel del avvägningar som kräver erfarenhet från kraftvärmeverk och MPCdesign för att komma till ett optimalt resultat.

Målgruppen för studien är dels beslutfattare för drift av anläggningar, där potentialen med modellbaserad reglering visas, dels processingenjörer för vilka information om implementering och intrimning av MPC är relevant.



Figur 51. Schematisk bild av Epsilonmodellen för Idbäckens kraftvärmeverk

Figure 51. Schematic view of Epsilon model

4.1.5 Styrning av SNCR med kiselkarbidsensorer, rapport 1205

Vid Linköpings universitet utvecklas sedan många år sensorsystem baserade på kiselkarbid. Sensorerna bygger på en vanlig transistor men med en katalytisk metall som styre. Gaser som reagerar med den katalytiska metallen laddar upp transistorn och ger ett elektriskt fält som ändrar strömmen genom transistorn. En förstudie av Alstom Power Systems, Växjö tillsammans med Linköpings Universitet visade att ett kiselkarbidbaserat sensorsystem för att styra SCR och SNCR i rökgaser är intressant.

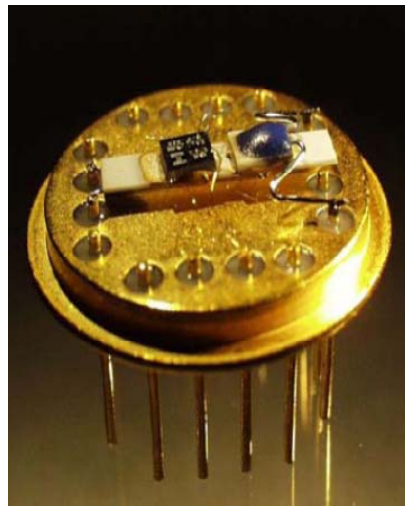
I huvudsak var avsikten med framtagandet av sensorsystem/ reglerstrategi att denna skulle kunna appliceras i kraft-/värmeverk med redan befintlig utrustning för SCR och SNCR såväl som vid nyinstallation. Tillförlitlighetsproblem under långtidstestning och hög korskänslighet mot CO har omöjliggjort utveckling av ett sensorbaserat reglerschema och testning av sensorbaserad styrning av SCR och SNCR utrustningen inom projektets tidsram.

Fältnätningarna har resulterat i mycket värdefulla erfarenheter och har också resulterat i utveckling av en ny sensordesign och en ny operationsmod för sensorerna med vissa fördelar jämfört med tidigare sensorer. Tillförlitligheten av dessa under verkliga förhållanden återstår dock att testa.

Viktiga resultat från projektet:

- Sensorerna visade korskänslighet för CO i en miljö med låg syrehalt
- En ny mätmod har tagits fram för sensorerna som nu ger ammoniakrespons i

- laboratorietester i närvaro av höga halter CO och låg syrekoncentration
- Sensorer installerade i Ångkraftverket i Kisa visade stabil baslinje under två månader
- Båda sensorsignalerna från två sensorer placerade på olika djup (vid väggen och 40 cm in) i en rökgaskanal i Nyköping följde CO koncentrationen
- Korrelation av sensorsignalen med CO koncentrationen i Linköping och Nyköping kunde användas för att utvärdera sensorns uppförande i stora anläggningar
- Resultaten visar också att förhållandena i varje enskild panna behöver kartläggas noga, då många parametrar viktiga för sensorsystemets utformning varierar, t.ex. under eller övertryck i anläggningen
- Sammanfattningsvis indikerar projektet att ett sensorsystemet med kiselkarbidsensorer som mäter NH_3 i rökgaserna har potential att minska mängden urea som sprutas in och samtidigt minska mängden ammoniak-slip med bibehållet mycket lågt utsläpp av NO_x .



Figur 52. Kiselkarbidsensor

Figure 52. Silicon carbide sensor

I projektet deltar Linköpings Universitet, SenSiC AB, Vattenfall, Alstom Power samt Tekniska Verken i Linköping AB Publ. Linköpings Universitet är projektledare och står för processning av känslskikt, tester och analyser av sensorsystem i labb, deltar i testerna i industrin, samt leder utvärdering och rapportskrivning. SenSiC AB tillhandahåller sensorkomponenter, montering och elektronik samt deltar i tester i labb och industrin.



Figur 53. Tre olika typer av sensormontering

Figure 53. Three different gas introduction designs

4.1.6 Lastprognoser för fjärrvärme med hänsyn till scenarier och osäkerheter i vädret, rapport 1196

Vid produktion av fjärrvärme är väderprognoser en väsentlig inparameter som underlag för att beräkna lasten. Lastprognoser ligger i sin tur till grund för produktionsplaneringen, dvs. hur man skall köra anläggningen, vilka bränslen man skall använda, när och i vilken omfattning energin skall produceras lagras och distribueras. Men väderprognoser är aldrig exakta och det faktiska vädret skiljer sig ofta från prognoserna. Vädret kan dessutom variera stort från en plats till en annan inom ett lastområde. Med "väder" avses traditionellt främst temperatur i entimmes steg, men även molnighet, solinstrålning, vind och nederbörd påverkar lasten.

Att producera värme och el ställer stora krav på planering med hänsyn till kunders varierande behov av värme och att minimera kostnader för produktionen. Behovet av värme styrs till största delen av vädret, men även av användarmönster (sociala beteenden m.m.).

Projektets uppgift är att studera hur osäkerheter i väderprognoser slår igenom i lastprognoser samt att visa hur variationerna i dessa lastprognoser i sin tur påverkar planeringsunderlaget.

Målgruppen är fjärrvärmeproducenter och målet är att påvisa hur kvantifierbara osäkerheter i vädret påverkar beslutsunderlagen för produktion av värme och el. Projektet genomförs i samarbete med fem fjärrvärmebolag i Södermanland/Uppland. Genom att generera så kallade ensembleprognoser studerades variationer och osäkerheter i kommande väder (upp till ett par dygn). Dessa används därefter som indata i en enkel lastmodell som utvecklats i samarbete med de deltagande fjärrvärmebolagen.

Olika modeller för produktionsplanering beskrivs samt även beräkningar (optimering) av dessa. Studien visar att det finns ett stort behov av att kvantifiera hur osäkerheter i vädret kan påverka produktionen av värme och el för fjärrvärmebolag. Det finns även behov av att kvantifiera och minimera andra osäkerheter, t.ex. i form av hur väderobservationer (mätstationer av aktuellt väder) är placerade i relation till platser som representerar lastområdet. Därtill ställs stora krav på hur såväl väder som last och underlag för produktionsplanering presenteras för personalen på energibolaget. Resultaten visar att det går att göra såväl miljömässiga som ekonomiska vinster genom implementering av de metoder och strategier som studerats. Resultaten av rapporten kan användas för fortsatta studier av hur man med hjälp av väderprognoser och en större förståelse för svagheter, styrkor och möjligheter med väderprognoser i olika vädersituationer kan minska osäkerheter, risker, kostnader, miljöbelastning eller på annat sätt optimera produktionen av energi.



Figur 54. Svensk väderstation

Figure 54. Traditional Weather Station (Sweden)

4.1.7 Panntemperaturreglering med explicit MPC, rapport 1218

En MPC-regulator använder en processmodell för att beräkna styrsignalerna. Regulatorns mål är att nå sina börvärden så effektivt som möjligt samtidigt som den håller sig innanför de begränsningarna som användaren angivit. Flera styrsystemsleverantörer erbjuder programbibliotek för MPC till sina styrsystem men det kostar oftast extra licenspengar. En nackdel med MPC är att den belastar styrsystemet relativt hårt eftersom metoden kräver beräkningsrutiner för att lösa ett matematiskt optimeringsproblem. Detta måste göras vid varje samplingstillfälle för att hitta de önskade styrsignalerna. Styrsystem som inte har stöd för detta kräver att användaren själv implementerar sådana optimeringsalgoritmer, vilket inte är en enkel uppgift.

En lösning på problemet med den tunga belastningen på styrsystemet är så kallad explicit MPC där en styckvis linjär styrlag beräknas i förväg. Själva optimeringen görs alltså offline. När regulatoren arbetar online i styrsystemet är det aktuellt driftläge som bestämmer den styrlag som skall användas. Det enda som behövs göras då är någon typ av ”tabellslagning” för att hitta rätt styrlag.

Regulatoren och panntemperaturstyrningen har utvärderats på Stora Enso Hylte Bruks panna 4 som är en cirkulerande fluidiserad bäddpanna. Man eldar i huvudsak returflis, bark, slam och naturgas, och producerar ånga som används som energibärare till brukets övriga processer.

För att kunna följa EU:s direktiv om förbränning av avfall (direktiv 2008/98/EG) krävs bl.a. att man kan visa att rökgaserna från förbränningen av avfallet uppehåller sig vid en temperatur på minst 850°C i minst 2 sekunder. På Hyltes panna 4 använder man naturgas som stödbrännare för att kunna klara temperaturkravet vid driftlägen då temperaturen normalt skulle vara lägre. Den ekonomiska kostnaden för naturgasen är högre än för övrigt bränsle och därför finns det ett starkt motiv att hålla naturgasförbrukningen på en så låg nivå som möjligt.

Tidigare har styrningen för detta realiserats med flera enkel-loop-regleringar, i den här rapporten utvärderas en samordnad flervariabel reglering i form av en explicit MPC-regulator. Målet med den flervariabla regleringen är att uppfylla avfallsdirektivet med hjälp av så lite naturgas som möjligt. Resultatet är att explicit MPC kan med fördel användas då man inte har för många in-och utsignaler till regulatoren.

I det här projektet konstaterades att en reglering med två styrsignaler och två mätvärden kunde hanteras, men mycket större än det var inte möjligt. Dock beror denna begränsning till största delen av ABB:s ingenjörsvärktyg och inte själva styrsystemet. Med bättre ingenjörsvärktyg bör mer komplexa reglerproblem kunna hanteras med explicit MPC.

Rapporten ger flera förslag på hur man kan anpassa regleringen för att hålla antalet signaler, och därmed komplexiteten, nere. Om denna reduktion av signaler inte är tillräcklig kan man gå vidare med något som kallas *approximativ explicit MPC*. Detta förfarande beskrivs också utförligt i rapporten.

Det visar sig även fungera bra med den flervariabla styrningen av panntemperaturen. En svårighet med MPC-regleringen, som för övrigt uppkommer vid all typ av modellbaserad reglering, är själva modelleringsarbetet som är tidskrävande. För den här pannan, och troligtvis många andra med den, visade det sig att den uppför sig annorlunda sommartid jämfört med vintertid. Explicit MPC tillåter endast linjära modeller och kan därmed inte hantera modellparametrar som varierar med tiden. Detta får man hantera genom att vid lämpligt tillfälle växla regulatorinställning.

4.1.8 Optimerad framledningstemperatur för stora fjärrvärmenät, rapport 1227

Framledningstemperaturen till fjärrvärmenät är viktig ur flera aspekter: Den påverkar verkningsgraden på produktionsanläggningen samt värmeförlusterna från nätet, och den reglerar hur mycket effekt som levereras till kunden. I princip ska flödet på nätet regleras med hjälp av framledningstemperaturen, men detta är svårt på grund av långa tidsfördröjningar mellan produktionsanläggningen och kunderna. I ett tidigare Värmeforskprojekt togs en modellbaserad reglerstrategi för framledningstemperaturen fram. Målet med det här projektet var att undersöka vad som krävs för att denna reglerstrategi ska bli tillämpbar även på större fjärrvärmenät.

Fjärrvärmenätet i Uppsala, som har produktionsanläggningar på två ställen vilka pumpar värme mot varandra, användes som fallstudie i detta projekt. Två modeller av nätet togs fram och jämfördes; en detaljerad modell av fjärrvärmenätet, implementerad i programvaran TERMIS Operation, och en förenklad modell ämnad för reglering. Den förenklade modellen baserades på kurvor för lastfördelningen på nätet, vilka togs fram genom simulering av den detaljerade modellen. En reglerstrategi för optimal framledningstemperatur från de olika anläggningarna togs fram, och vinsten av en sänkt framledningstemperatur beräknades. Den modellbaserade reglerstrategin simulerades i TERMIS-modellen av fjärrvärmenätet och två fall med olika högt tillåtet differensstryck på nätet jämfördes. Resultaten visade att framledningstemperaturen kunde sänkas med i genomsnitt 8°C under perioden januari-april om det högre differensstrycket (8 bar) kunde tillåtas, vilket skulle öka elproduktionen med 2.5% och ge 1.2 miljoner kr i ökade nettointäkter från elförsäljning. Samtidigt skulle flödet till nätet bli stabilare. I rapporten visas att den vidareutvecklade metoden för optimerad framledningstemperatur är tillämpbar för större fjärrvärmenät med anläggningar som ligger i varsin ände av nätet och pumpar mot varandra. Tillämpningar på andra typer av nät diskuteras också.

4.2 Interaktion process – användare

Anläggningens drifttillgänglighet är kanske den viktigaste parametern för en värmeproduktionsanläggning. För att garantera maximal tillgänglighet skall övervakningssystemet leverera all information som krävs för snabbt beslutfattande till drift- och underhållspersonalen. Ett enkelt och överskådligt Människa–Maskin–Interface (MMI) står däremot ofta i motsatsförhållande till komplexiteten i processen som övervakas.

Under kommande programperiod ses trender mot förändrade villkor på arbetsmarknaden med bland annat många pensionsavgångar och diversifiering av personalens uppgifter. Det är angeläget att utvärdera potentialen av interaktiva utbildningsverktyg som t.ex. simulatorer, för att upprätthålla kompetensen och minska inlärningsstiden för ny personal.

Målet för huvudområdet integration process – användare är att studera och utveckla teknik och metoder som stöder och förbättrar personalens beslut och som underlättar utbildning i både kort- och långsiktiga frågeställningar.

Inom Processtyrning har 1 projekt i delområdet ”*Interaktion process – användare*”

genomförts. Tabell 9.

Tabell 9. Projekt inom interaktion process-användare under programperioden 2008-2011.

Table 9. Project on interface user-machine in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
Visualisering av anläggningsstatus – Utformning av innovativa gränssnittspresentationer /Chalmers Tekniska Högskola	1172

4.2.1 Visualisering av anläggningsstatus – Utformning av innovativa gränssnittspresentationer, rapport 1172

I takt med att både komplexitet och krav på lönsamhet växer i processindustrins anläggningar ökar kraven på att i ett tidigt skede kunna upptäcka, fatta beslut om och åtgärda avvikelser i processen. Detta är viktigt för att snabbt kunna återgå till normalt driftläge och därmed åstadkomma hög drifttillgänglighet.

Målet var att utveckla och utvärdera nya skärmbilder anpassade till operatörens informationsbehov i olika driftsituationer.

Arbetet utfördes i två etapper. I etapp I utvecklades skärmbildsförslag på en övergripande funktionsnivå, och i etapp II utvecklades detaljerade skärmbilder på objektnivå anpassade för projektets referensverk; Hässelbyverket (värmekraftverk) and Korsnäs Gävle (massa- och pappersbruk).

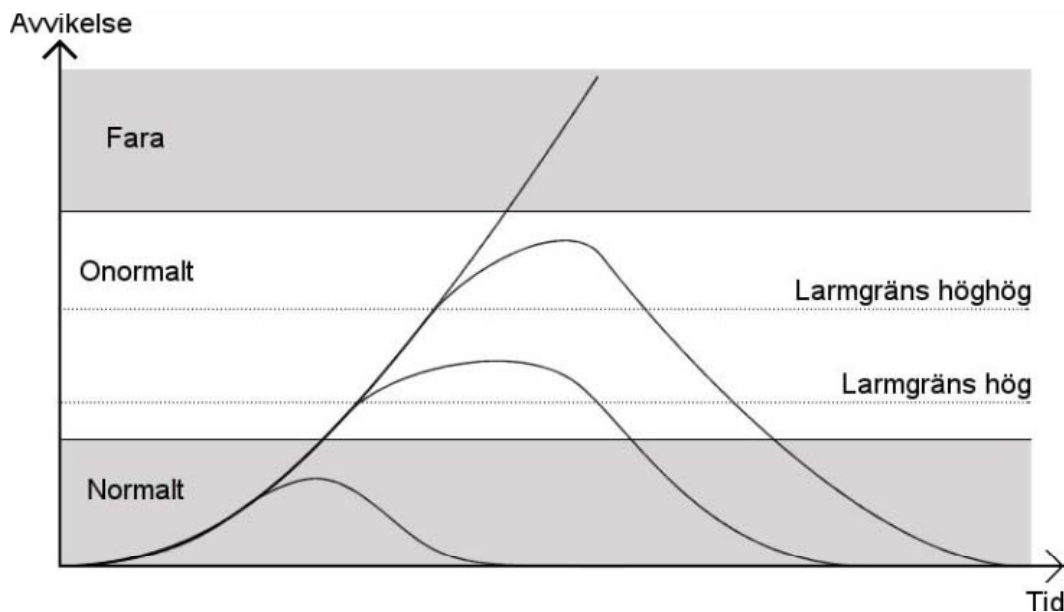
Resultatet från etapp I består av konceptuella skärmbilder för sex typiska arbetssituationer som togs fram i samarbete med referensverken. En litteratursammanställning genomfördes om designteori för visuella displayer och de senaste trenderna inom visualisering av anläggningsstatus. En branschjämförelse gjordes mellan värmekraft, pappers- och massa, kärnkraft, raffinaderi, sjöfart, flyg och flygledning, medicinsk teknik, lednings- och bevakningscentraler samt dataspel för att hitta nya infallsvinklar till hur operatören kan stödjas via gränssnittet i sin arbetssituation. Resultatet innehåller också en systemmodell för att beskriva komplexa människa-maskinsystem samt riktlinjer för utformning av skärmbilder för värmekraftverk samt massa- och pappersbruk.

I etapp II utvecklades detaljerade skärmbilder för referensanläggningarna. För Korsnäs Gävle utvecklades en skärmbild för optimering av processdelen Blandlut 7. På Hässelbyverket valdes tre driftsituationer för detaljerad utformning; snabb perception av anläggningsstatus (ersättning av gamla visartavlor), proaktivt upptäcka avvikelser i processen och optimering av miljövärden.

De utvecklade skärmbilderna medför fördelar både för operatörens arbetssituation och driftfördelar. De problem som uppstått har främst varit svårigheter att implementera nya idéer i befintliga styrsystem. För att komma runt detta användes anläggningarnas informationssystem eftersom det medgav större flexibilitet för att implementera nya visualiseringsformer. En annan slutsats är vikten av att utvärdera med operatörer i drift, då skärmbilden används i sin rätta miljö.

Nyhetsvärdet består i att poängtera att anläggningar bör se utveckling av nya skärmbilder

som en integrerad del i moderniseringsarbetet, och att det också har betydelse för driftekonomin. Om det finns optimala förutsättningar att styra och övervaka processen förbättras också potentialen för att höja kvalitet, effektivitet och säkerhet. Visualiseringsförslagen i rapporten kan fungera som exempel och inspirationskälla för kommande utvecklingsprojekt i industrin. Målet med projektet är uppfyllt genom att nya skärmbilder anpassade till operatörens informationsbehov i olika driftsituationer har utvecklats och utvärderats. Potentiella framtida förbättringar till förslagen i rapporten har också redovisats.



Figur 55. Tid för återgång till normalt tillstånd beror på hur snabbt avvikelsen upptäcks

Figure 55. Time to return to normal operating condition depends on how fast the deviation can be detected

4.3 Mätteknik

Förbränningsprocessen är komplicerad och sker i extrema miljöer. Utvecklingen av pålitliga mätmetoder är av stort intresse för att förbättra förståelsen av processen samt för att kvalitetssäkra mätningarna vid redovisning av miljödata inför myndigheterna.

Kopplingen mellan mät- och reglerteknik är också ett viktigt område. Integration av alla kritiska mätdata i styrsystemet är avgörande för att styra och övervaka processen så att förbränningen sker ekonomiskt och inom de uppsatta miljökraven.

Målet för huvudområdet mätteknik är att förbättra mätmetoder för olika parametrar i förbränningsprocessen samt att öka insikten om hur givare kan utnyttjas i styrningen av en värmeproduktionsanläggning.

Inom Processtyrning har 3 projekt i delområde "Mätteknik" genomförts. I Tabell 10 finns en sammanställning av projekt som utförts i delområde mätteknik under programperioden.

Tabell 10. Projekt inom mätteknik under programperioden 2008-2011.

Table 10. Project on control measuring technology in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
IR sensor för övervakning av brännarflamma i biobränsleeldade kraftverk /Vattenfall R&D	1211
Förbättrad behovsstyrd sotning med hjälp av värmeöverförande tubens mekaniska egenskaper - etapp II /Qring Technology	1193
Automatisering av styrning av kransystem för fukthaltsmätning vid bränslemottagning /Bestwood	1173

4.3.1 IR sensor för övervakning av brännarflamma i biobränsleeldade kraftverk, rapport 1211

Potentialen för optimering av förbränningsanläggningar med hjälp av ett enkelt och kostnadseffektivt mätsystem är stor. IR teknik kan användas av alla pannor där pulveriserad biomassa används som huvudbränsle och kan ge en möjlighet att kunna optimera förbränningen genom att byta ut flamvakterna mot Infraröd (IR) sensorer och även få ett system som erbjuder mer information om flammans kondition. Potentialen för systemet anses vara stort då det är ett konkurrenskraftigt mätsystem som är enkelt att installera och kan innebära en ökad optimering av förbränningen i värmekraftverk.

Vidare är teknikens miljöaspekter intressanta då optimerad förbränning leder till att även fluktuationerna i eldstaden kan minimeras vilket i sin tur möjliggör förbättrad rökgasrening och ger direkta förbättringar i miljövärden.

Projektet för mätning av massflöde vid förbränning av biobränsle utfördes i två etapper vid P2-pannan i Hässelbyverket. Första etappen innebar undersökning av motsvarande korrelation mellan IR-signalen upptagen med hjälp av en Fourier Transformer Infraröd (FTIR) sensorsystem och massflödessignalen från Mecontrol Coal

instrumentet. Slutsatsen blev att IR-sensorsignalen uppvisar ett antikorrrelationsbeteende vid eldning av biomassa precis som vid eldning av kol. Resultaten visar också att IR-signalen påverkas av vilken del av flammen som sensorn är riktad mot. Även ändring av flammans form påverkar signalen.

Två nya IR sensorer utvecklades i etapp två och installerades vid två olika brännare i en fem veckor lång mätkampanj.

Slutsatsen av resultaten av andra etappen är följande:

1. Den modifierade och förenklade IR-sensorn kunde mäta flammans IR-emission under flera veckor utan mekaniskt fel.
2. Signalen från IR-sensor 1 visar en god korrelation mot massflödet som bråkandes med en modell med signaler från skruvmatare och Doserare. Korrelationen visade 0,87 och 0,74 signifikansnivå beroende på last.
3. Beteendet av IR-signalen som funktion av pannlast visar att vid högre laster (> 65 MW) uppvisar signalen "anti-korrrelationsbeteende". Vid lägre pannlast är signalen positiv korrelerad mot beräknade massflödet.
4. Installationen av givaren har stor inverkan på signalkvalitén från IR-sensorerna. Signalen från IR sensorn 1 uppvisade sämre kvalitet vid första position men signalkvalitén förbättrades vid senare mätningar i kampanjen. Sensor 2 kunde inte leverera data av samma kvalitet som i fallet med IR sensor 1.

4.3.2 Förbättrad behovsstyrd sotning med hjälp av värmeöverförande tubens mekaniska egenskaper - etapp II, rapport 1193

Att detektera påslag på panntuber är fortfarande en stor utmaning för alla pannägare. Syftet med att detektera påslag är att sota precis så mycket som är nödvändigt för att pannan skall hållas ren. Att sota för mycket innebär ett stort slitage på de tuber som sotas och att sota för lite innebär minskad prestanda för pannan. Sotningstillfälle avgörs idag genom att tidsbestämma med vilka intervall man skall sota. Detta innebär att man sotar vare sig det behövs eller inte. Tidsintervallet innebär dessutom att man inte tar hänsyn till om eldningen sker med ett bränsle med hög eller låg askhalt eller vilka förbränningsbetingelser som föreligger. Det har gjorts försök med behovsstyrd sotning där metoderna bygger på termodynamiska principer samt att sotning sker när värmeöverföringen blir sämre. Nackdelen med dessa metoder är att de reagerar långsamt.

I detta arbete har försök gjorts att utvärdera om tubens mekaniska egenskaper kan användas för att detektera påslag på överhettartuber. För att montera givare inne i pannan har töjningsgivare med högtemperaturprestanda använts. För att klara de stora påfrestningarna i en panna är det även nödvändigt att skydda givarens kabel vilket görs genom att ett skyddsror monteras och därefter dras ut genom pannväggen. Det visade sig att det enklaste och kortaste monteringsarbetet var att dra skyddsroren genom panntaget när sotdetektorn satt längst upp på tuben.

Mätningar för att prova och utveckla metoden har ägt rum i tre avfallseldade pannor i Sverige, SAKAB WTE1(roterugn), Ryaverket panna 2 (BFB) samt Renova panna 1

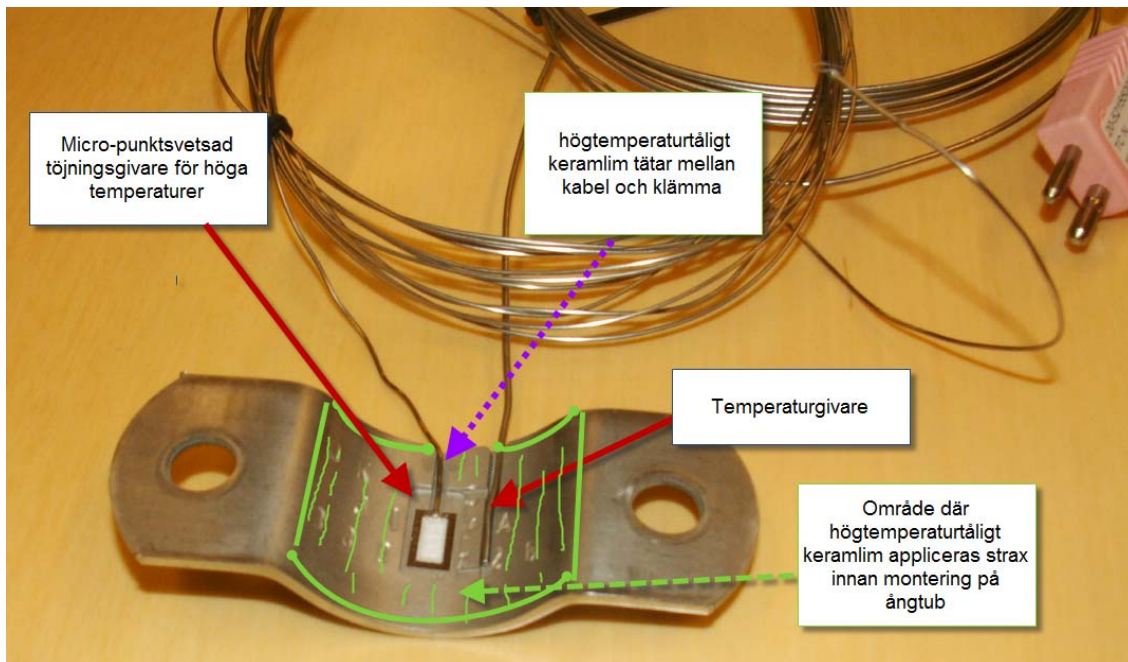
(rost). Under mätningarna har det visat sig att det finns både mekaniska och elektriska störningar samt att signalen som skall detektera sotning är mycket liten i förhållande till störningarna. Den förstärkartyp som först var tänkt att användas, Wheatstonebrygga, visade sig ha alldeles för dåliga dynamiska egenskaper för att hantera denna problematik. Förstärkartekniken har därför successivt utvecklats under projektets gång. Det som fungerade bäst var en balanserad konstantströmmatad brygga i kombination med en tunn sotdetektorklämma placerad nära panntaget.

Problematiken med stora störningar - små signaler har även varit en signalanalytisk utmaning varför många olika signalanalysmetoder prövats. Resultaten från mätningar och analyserna visar att det går att detektera sotpåslag m.h.a. frekvensskiften vid lågfrekventa tubresonanser men att metoden är känslig för störningar. Resultaten visar att excitationen skiljer markant mellan tubpaket där gasströmningen går tvärs tuben och längs tuben. När strömningen går längs tuben blir excitationen liten. Detta medför att den respons som används för att detektera sotpåslaget också blir liten. I Renovas fall sötades pannan dessutom ofta vilket medförde att viktförändringen för denna panna var mindre.

Projektet har även visat att man kan detektera frekvensskiften automatiskt med hjälp av algoritmerna MUSIC och ESPRIT. Denna kunskap gör det möjligt att använda signalen för reglering. I dagens läge är dock metoden osäker p.g.a. kvaliteten i montage och signalbehandling. Ytterligare utvecklingsarbete kommer att krävas för att metoden skall kunna användas för att styra sotningen.

Med givarkablaget skyddat visar långtidstest under 6 månader att sotdetektorkonceptet klarar de termiska, mekaniska och kemiska påfrestningarna som finns i avfallspannor för en hel driftsperiod, d.v.s. för tiden mellan två revisioner. Det verkar dock inte möjligt att återanvända en använd sotdetektor om den monteras bort vid revisionen efter en mätperiod eftersom bultförbanden är för hårt anfrätta och kap måste användas för att få bort sotdetektorn från tuben.

För att kunna använda metoden vid högre frekvenser måste signalstorleken vid högre frekvenser ökas. En potentiell vidareutveckling av konceptet kan då vara att automatiskt knacka tuben med en metallpinne och samtidigt mäta responsen med en accelerometer. Eftersom temperaturen är betydligt lägre där än på insidan av pannan skulle en något billigare accelerometer då kunna användas.



Figur 56. Färdigmonterad Klämma-på-tub sotdetektor

Figure 56. Assembled Clamp-on-Tube sot gauge

4.3.3 Automatisering av styrning av kransystem för fukthaltsmätning vid bränslemottagning, rapport 1173

Nära Infraröd (NIR) spektroskopi är en teknik som väl lämpar sig för analys av komplexa biologiska material. Inom ramen för ett Värmeforsk projekt utvecklades ett NIR-baserat system för leveranskontroll av biobränsle. Det togs även fram relevanta förutsättningar inför en standardisering av fukthaltsmätning vid bränslemottagning med NIR-spektroskopi.

Målet för detta projekt är att skapa en prototyp för automatisk styrning av det kransystem som använts inom tidigare Värmeforskprojekt. Underlag för kransystemets funktion togs fram genom fallstudier vid Eskilstuna Energi & Miljö, Falun Energi & Vatten, Fortum (Brista), Göteborg Energi, Mölndal Energi, Skelleftekraft och Öresundskraft.

Rapporten redovisar utveckling av en prototyp för automatiserad styrning av ett kransystem för fukthaltsmätning av biobränsle. Lasergivare och IR-sensorer används för att bestämma storleken hos bränslebehållare i lastbilekipage. Därefter beräknas ett område i lasten där mätning kan ske. Systemet använder en slumpalgoritm för att fastställa i vilka punkter som mätning skall ske.

Mätproben manövreras med hjälp av en återkopplad styrning som är ansluten till en analog ingång vid kransystemets manöverspakar. Ultraljudsensorer används för att fastställa mätprobens position och att proben når önskad position.

Praktiska försök visar att det är möjligt att med den valda utrustningen bestämma gränserna för bränslebehållare i ett standard ekipage samt att styra en mätprob till att ta prov i sex slumpvis valda positioner i lasten.



Figur 57. Fukthaltsmätning av levererat bibränsle med NIR-prob

Figure 57. Measuring moisture content in biomass fuel with NIR-prob

4.4 Kvalitet och säkerhet

För att garantera hög driftsäkerhet är det viktigt att ha ett styr- och övervakningssystem med väl strukturerade och testade mjuk- och hårdvaror. Kvalitetsbrister kan dessutom påverka miljön negativt och orsaka stora oförutsedda kostnader. Med fjärrstyrning av allt fler anläggningar och den höga automationsgrad det resulterar i, blir kvalitetssäkringen ännu viktigare.

Målet för huvudområdet kvalitet och säkerhet är att vidareutveckla metoder för att säkerställa kvaliteten för hård- och mjukvara i styrsystem.

Inom Processtyrning har 1 projekt genomförts inom delområde "Kvalitet och säkerhet".
Tabell 11

Tabell 11. Projekt inom kvalitet och säkerhet under programperioden 2008-2011.

Table 11. Project on control quality and safety in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
Tillståndsbaserat underhåll med applikation på en värmeväxlare och en pump /Grontmij	1214

4.4.1 Tillståndsbaserat underhåll med applikation på en värmeväxlare och en pump, rapport 1214

Baslastanläggningar har långa drifttider och driftkraven är oftast en stabil last på maximal produktion eller så nära max som är möjligt. Eftersom drifttiderna är långa och effekterna vanligen höga, så är det i dessa anläggningar som avancerade styrningar och underhållsplanering är lönsamma. För att genomföra avancerad reglering och processoptimering krävs dynamiska processmodeller. På grund av den långa drifttiden för en baslastanläggning är det naturligt att dess processegenskaper förändras, till exempel genom slitage och försmutsning. Detta innebär att även modellerna måste anpassas löpande för att få en bra överensstämmelse och därigenom goda förutsättningar för reglering och optimering. Den stabila driften hos en baslastanläggning försvårar dock skattningen av modellparametrar genom bristen på excitation.

Projektet syftar till att testa estimeringstekniker som är mindre känsliga för bristande excitation. I projektet används en värmeväxlare och en pump som studieobjekt. Dessa komponenter har en kraftig påverkan från den miljö de befinner sig i. I applikationerna skall underhållsinsatsen optimeras utifrån slitage och påbyggnad, det vill säga underhållet ska baseras utifrån behovet.

Studien visar att Stenlund-Gustafsson (SG)-metoden var den metod som bäst klarade av att estimerar parametrar vid låg excitation. Tyvärr uppstod problem då denna metod inte klarar att skatta på parametrar i modeller beskrivna i tillståndsform. Lösningen på detta problem var att bryta ut de delar av modellen som var tidskonstanta. Dessa delar användes sedan för att generera data för att skatta de varierande parametrarna. Detta innebär att estimatorn inte tar hänsyn till hela modellen. I värmeväxlarapplikationen innebär det att värmeöverföringens flödeskomponenter kan skattas, samt dessa parametrars degradering. Degraderingens beteende skattades för att testa olika scenarier för service och kunna välja den optimala strategin.

Pumpkurvor för en pappersmassapump skattades också med gott resultat. Här kunde slitaget följas nästan dag för dag, både vad gäller uppfodringshöjd och verkningsgrad. Tillsammans med den i projektet utvecklade optimeringsrutinen kan den ekonomiskt bästa servicedagen beräknas utifrån historisk, aktuell och prognostiserad driftdata.

Även om projektgruppen stötte på problem vad det gäller användandet av SG-metoden kunde dessa hanteras, bland annat genom att explicit bryta ut de delar av modellen som degraderas och endast skatta denna delmodells parametrar. Detta bedöms av projektet som en framkomlig väg för de flesta liknande fall.

4.5 Kunskapsluckor

Inom Processtyrning finns behov av kunskaper inom följande områden:

- Jämförelser mellan olika styrstrategier för att kunna rekommendera ”best-practice” för olika syften. Detta innebär vidareutveckling av metoder för utvärdering och skattning av reglerprestanda.
- Utvärdering av metoder baserade på traditionella reglerstrukturer som utvecklas inom industrin och forskningsvärlden för kännedom till Värmeforsks intressenter.
- Utveckling och inställning av mer traditionella styrstrategier och regulatorer underlättas dessutom om en dynamisk modell finns tillgänglig. Processmodeller kan utnyttjas för processoptimering samt simulering vid konstruktion, driftsättning, operatörsträning, feldetektering m.m. Utveckling av dynamiska modeller är ofta tidskrävande. Modellutveckling kan därför utgöra en mindre eller större del i enskilda projekt.
- Produktionsplanering är ett annat angeläget område. System som stöder driftpersonalen i valet av bränsle och i vilka förhållanden man skall producera el respektive värme är av stort intresse.
- Undersöka möjligheterna för svenska kraftvärmeverk att leverera reglerkrafttjänster.
- Användbarheten hos ett mätsystem avgörs av mätnoggrannhet, robusthet, tillgänglighet, tillförlitlighet och livslängd. Det är därför viktigt att ta fram rutiner för att bestämma dessa egenskaper samt för uppföljning och kalibrering av mätgivare.
- För att uppnå en optimal förbränning med hög verkningsgrad och minimal miljöpåverkan, behöver ett antal kritiska parametrar styras. Reglering av temperaturen och syrehalt är till exempel avgörande för korrosion i pannan, verkningsgrad och halten av miljöfarliga ämnen.
- För att upprätthålla en stabil pannreglering trots variationer i bränslekaraktäristik är det väsentligt att mäta alla relevanta parametrar innan bränslet når pannan. Utveckling och utvärdering av mätmetoder för bränslekaraktärisering är därför av intresse.
- Hur nya mätmetoder som t.ex. eldstadskameror för flamfrontbestämning eller NIR-spektroskopi för fukthaltbestämning skall integreras i styrstrategin är av stor betydelse. Den information som utnyttjas i regleringen fås ofta efter någon form av förbehandling av rådata, vilket genererar frågor angående datakvalitén, samplingshastigheten, inverkan av förbehandlingens algoritm på regleringen m.m.
- Utveckling av så kallade ”soft-sensors” där ett antal indirekta mätningar utnyttjas för att med hjälp av algoritmer beräkna omätbara eller svårätbara parametrar är ett angeläget område som kan möjliggöra nya lösningar för styrning och optimering.
- Ett viktigt forskningsområde är utformning av användargränssnitt (MMI) som rör människans förmåga att tillgodogöra sig information om anläggningen.

- Larmsanering, som syftar till att undvika onödig larmvisning och analysmetoder för att hitta den primära orsaken till en larmskur.
- Utvärdera metoder som kan utnyttja processkunskap och drifterfarenheter för att identifiera lämpliga tidpunkter för behov av underhåll innan komponentfel uppstår men ej tidigare än nödvändigt.
- Kvalitetssäkring är ett högaktuellt område då obemannade anläggningar ökar i antal. Interaktion mellan specifik programvara i en fjärrstyrd anläggning och det överordnade systemet bör exempelvis beaktas. Andra aspekter som behöver belysas är säkerheten i obemannade anläggningar både gällande person- och saksador, säkerhet mot dataintrång och säkerhet i överföringen så att data inte förstörs.

4.6 Slutsatser

Inom programmet behandlas mät-, optimerings-, styr- och övervakningssystem för kraft- och värmeproduktionsanläggningar. Systemen omfattar utrustning i kontrollrum och andra installationsutrymmen, fältbussar samt instrumentering och givare i anläggningen. System för fjärrstyrning och larmhantering ingår i programområdet liksom metoder och system som styr anläggningen mot en bättre funktion. Även verktyg som ökar processförståelsen och ger bättre förutsättningar för anläggningens styrning och optimering behandlas i forskningsområdet.

Teknikområdet har bidragit till att klara 4 av Värmeforsks 9 delmålen. Det övervägande antalet genomförda projekt har avsett studier kring processtyrning för reglerteknik och driftoptimering (8 projekt). I 3 projekt har mätteknik utvecklats. I 1 projekt har nya skärmbilder anpassade till operatörens informationsbehov i olika driftsituationer utvecklats och utvärderats.

Processtyrning med syfte att sänka drift- och underhållskostnader har genomförts exempelvis genom behovsstyrd sotning, optimerad fjärrvärmemetemperatur, panntemperaturreglering.

Det har visats att elproduktionen på kraftvärmeverk kan ökas genom en optimerad fjärrvärmemetemperatur. Resultat från programmet gör det möjligt att öka elproduktionen från kraftvärmeverk med 2-3% under vintern genom optimering av framledningstemperaturen. Metoden kan implementeras på kort tid och återbetalar sig snabbt.

5 Systemteknik

Programmet för Systemteknik startades under programperioden 2008-2011 och är inriktat mot att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Programområdets syfte är att medverka till utveckling av flexibla anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav.

Under senare år har det blivit allt tydligare att produktion av el och värme inte kan öka, betraktat i ett isolerat perspektiv. Snabba förändringar av omvärldsfaktorer gör att anläggningarna måste vara så flexibla som möjligt. Flexibiliteten omfattar såväl bränsleval som att anläggningarna utnyttjas effektivt, samtidigt som det ställs allt större krav på tillgänglighet och säkerhet. Genom integration med andra verksamheter eller genom att utveckla nya produkter inom företaget är det möjligt att skapa energisystem som optimerar användningen av råvara/bränsle, såsom energikombinat anpassade efter lokala och/eller regionala förhållanden. Helhetssynen ska skapas genom att samverka och bilda allianser med andra organisationer vars forskning ligger inom näraliggande områden.

Det främsta målet för Värmeforsks program Systemteknik är att ur ett energisystemperspektiv studera potentiella möjligheter för att öka effektiviteten hos produktionsanläggningar. Detta kan innebära att identifiera nya eller alternativa produkter som kan komplettera de traditionella produkterna el och värme. Området omfattar även att utnyttja värmesänkor för att bibehålla, eller öka elproduktionen i en anläggning.

Att optimera anläggningar ur ett energieffektivt perspektiv inleddes tidigt, då Värmeforsk satsade på forskning som syftade till att tillvara restprodukter genom att förädla biomassan. Förädling genom torkning eller tillverkning av biopellets betydde dels att utnyttja och optimera produktionskapaciteten i kraftvärmeprocessen, dels att möjliggöra en ökning av elproduktionen. Arbetet bedrevs ofta i ett samspel med skogsföretag och sågverk.

Under vägen till effektiva energisystem har olika former av energikombinat studerats som främst inneburit en samlokaliserad produktion av flera energibärare. Vanligast är energikombinat baserat på samproduktion av olika former av drivmedel. Till första generationens biodrivmedel räknas etanol, biogas och RME. Andra generationens biodrivmedel tillverkas med mer avancerad teknik såsom förgasning. Exempel på andra generationens biodrivmedel är DME, metanol och syntetisk diesel.

Inom en inte alltför avlägsen framtid kommer det att finnas överkapacitet på värme (fjärrvärme, spillvärme). Forskning inom Värmeforsk har också initierats för att utreda vilka möjligheter det finns för att finna alternativ avsättning för värmen. Resultaten från forskning i Värmeforsk har visat att fjärrvärme kan användas exempelvis för att möjliggöra en ökad produktion av rötda biogas.

Inom Systemteknik påbörjades 19 projekt under programperioden inkluderande ett inledande projekt vars huvuduppgift var att initiera projekt inom området via en projektkoordinator. Ett projekt kring elcertifikat har avbrutits. Data som tagits fram inom projektet har sammanställts i en orienteringsrapport. (Orienteringsrapport 132)

Det övergripande målet för systemteknik var att bidra till utveckling av effektiva och hållbara bränslebaserade system för produktion av el, värme och andra produkter, med låg miljöpåverkan och optimal resursanvändning. Programmet för perioden 2008-2011 koncentrerades till följande huvudområden:

- Hållbar bränsleförsörjning – nya koncept och råvaror (4 st)
- Resurshushållning (1 st)
- Energikombinat – lokala och regionala energilösningar (12 st)

5.1 Hållbar bränsleförsörjning – nya koncept och råvaror

Kraven på minskad klimatpåverkan och ökad återvinning innebär att intresset för biobränslen ökar. En ökad efterfrågan på biobränslen i Europa påverkar marknaden för biobränslen i Sverige. En föränderlig marknadssituation kräver flexibla anläggningar som kan utnyttja olika typer av bränslen. Nya bränslen skapar ett behov av teknikutveckling i hela kedjan där logistiken är en viktig del för att få ett effektivt system med god ekonomi. Frågor som rör förbränningsteknik ligger primärt inom Värmeforsks program för Anläggnings- och förbränningsteknik.

Många förnybara bränslen har en alternativ användning som råvara i skogsindustrin, för framställning av alternativa drivmedel eller som foder och livsmedel. Här öppnar sig många intressanta möjligheter att få till stånd lösningar där man får ut största möjliga nytta av bränsleråvaran.

Programmet ska bidra till att utvecklingen av nya bränslen för energiproduktion styrs från prima skogsråvara till nyttjandet av ”enklare” biobränslen, dels för att minska anläggningarnas bränslekostnader men framförallt för att undvika konkurrens om skogsindustrins råvaror.

Prisutvecklingen på bränsleråvaror kan leda till att mer svåreldade eller förorenade bränslen används i anläggningar för kraft- och värmeproduktion. Detta ställer krav på utveckling av flexibla anläggningar som kan hantera ett bredare bränsleval och mer komplexa bränslen.

Programmet syftar till att öka bränsleflexibiliteten i energiföretagens och skogsindustrins anläggningar. Målet är att identifiera, hantera och använda nya och svåra bränslen. Nya koncept ska identifieras och utvecklas. Inom detta huvudområde ska även konsekvenser av olika styrmedel utredas.

Inom systemteknik har 4 projekt slutförts inom delområdet ”Hållbar bränsleförsörjning – nya koncept och råvaror”. Tabell 12

Tabell 12. Projekt inom hållbar bränsleförsörjning- nya koncept och råvaror under programperioden 2008-2011.

Table 12. Project on sustainable fuel supply- new concepts and materials in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
Optimering och teknisk/ekonomisk utvärdering av biogasproduktion från bioslam från massa- och pappersbruk /Pöyry Forest Industry	1130
Förstudie för biobaserat flygbränsle för Stockholm – Arlanda flygplats /Nycomb Synergetics AB	1125
Järnvägstransport av biobränslen /Green Cargo	1138
Elkraftproduktion ur processgas som idag facklas /Siemens Industrial Turbomachinery AB	1163

5.1.1 Optimering och teknisk/ekonomisk utvärdering av biogasproduktion från bioslam från massa- och pappersbruk, rapport 1130

Vid tillverkning av papper eller pappersmassa krävs stora mängder vatten som vanligtvis renas i bland annat ett biologiskt steg. I den biologiska reningen omsätter mikroorganismer under tillförsel av näringsämnen och syre delar av det organiska materialet till koldioxid, vatten och ny cellmassa (bioslam). Slammet från det biologiska reningssteget förbränns sedan eller används i tillverkning av jordprodukter. Genom att istället röta slammet kan flera fördelar nås. Den nedbrytbara fraktionen av det organiska materialet i slammet omvandlas till biogas och det energirika metanet kan användas för produktion av el/värme eller fordonsbränsle samtidigt som slammängden i efterföljande hantering minskas.

Målet för projektet var att utvärdera möjligheterna till en ekonomiskt lönsam biogasproduktion på massa- och pappersbruk. Data framtagna i projektet kan användas av massa- och pappersbruken som en bas i utvärderingar om ekonomisk lönsamhet i en biogasanläggning.

Potentialen för biogasproduktion för bioslam från 6 bruk inkluderande olika typer av massaprocesser och vattenreningsanläggningar har utvärderats. Samtliga slam utvärderades med avseende på metanpotential och ytterligare studier i 5-litersreaktorer gjordes med slam från två av bruken.

Två olika förbehandlingstekniker har utvärderats: ultraljud och enzymtillsats. Ingen av dessa metoder har ansetts tillräckligt effektiv för att rekommenderas och förbehandling har därför inte tagits med i den ekonomiska utvärderingen.

Resultat

Slammens metanpotential låg mellan 150 – 200 mL metan/g VS (volatile solids) med ett undantag. En kortare slamålder kan vara gynnsamt för bioslammets biogaspotential. Tillsats av kobolt visades i långtidsförsök ha en positiv effekt på omsättningen av acetat

och tyder på att en stabil process med låga VFA-halter (volatile fatty acids) kan köras för belastningar åtminstone upp till 4.0 g VS/L på denna typ av slam. Begränsningen låg istället i den höga viskositet som uppkommer i biogasprocessen främst med föravvattnat bioslam. Rätt design av omrörare för tillräcklig omrörarkapacitet kommer att vara en viktig förutsättning för en väl fungerande process i fullskala.

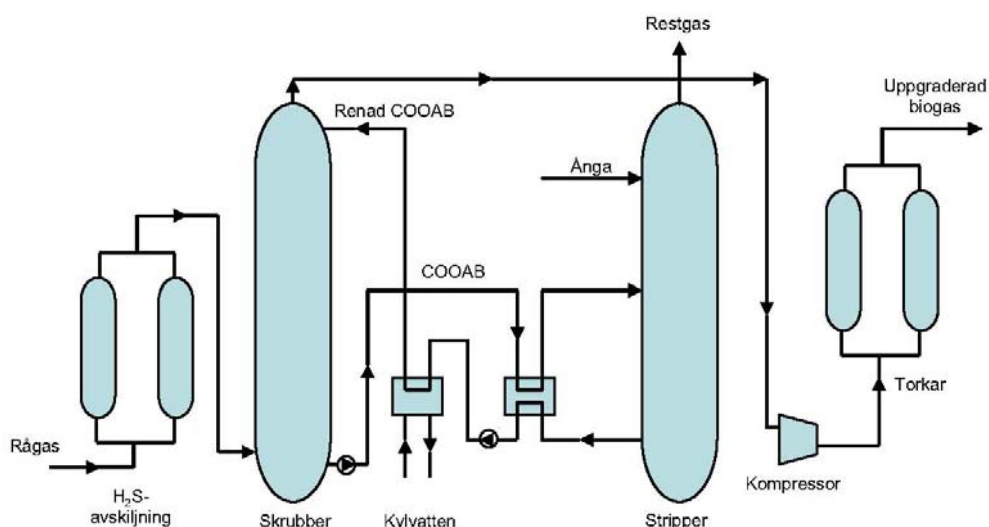
I reaktorförsöken erhöles slamreduktioner på 30-40% och slammens avvattningsbarhet förbättrades också av rötningen (45% respektive 90% för de två testade slammerna). Möjligheter till avsättning för rötresten är också viktigt att utvärdera och ett användningsområde bör finnas för en bra ekonomi i en fullskaleanläggning. Ett stort problem är dock den ökade halt av organiskt bundna metaller som erhålls i rötresten. Våra analyser visar att restmaterialet inte klarar de krav som ställs för certifierat jordförbättringsmedel, främst för kobolt. Återstår gör då användning av rötresten som t.ex. skogsgödning eller täckskikt för deponier, alternativt kan materialet brännas.

Tabell 13. Den ekonomiska genomgången visar på att investeringen per producerad mängd biogas minskar med ökad storlek på anläggningen.

Table 13. The economic review shows that the investment per produced amount of biogas decreases with increasing size of the plant.

Slammängd (ton TS/d)	Biogasproduktion (Nm ³ CH ₄ /år)	Investering markarbeten MSEK	exkl.	Driftsöverskott MSEK/år
7	305 000	30		2,6
20	871 000	51		9,2

Noteras bör då att hantering av rötresten inte är inräknad. Beroende på vad bioslammet används till idag så kan hanteringskostnaden både minska och öka och måste därför utvärderas från fall till fall.



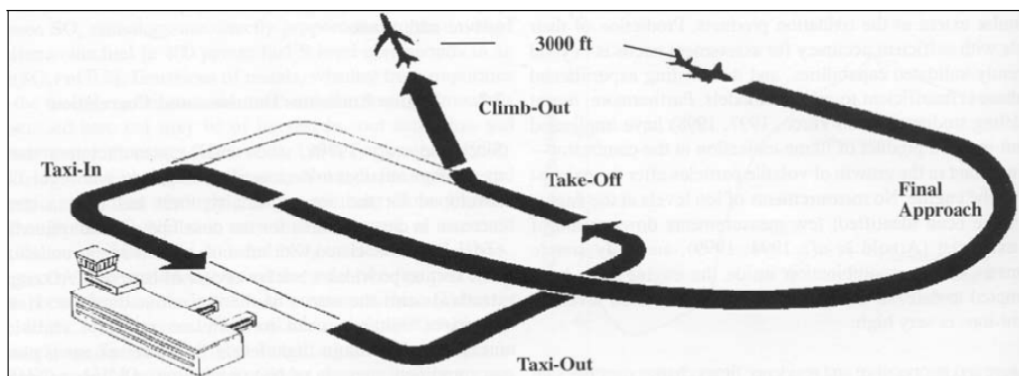
Figur 58. LP Coaab uppgraderingsanläggning

Figure 58. LP Coaab Biogas upgrading plant

5.1.2 Förstudie för biobaserat flygbränsle för Stockholm – Arlanda flygplats, rapport 1125

Flygindustrin ställs inför stora utmaningar i framtiden. Frånsett dagens ekonomiska situation finns det svårigheter med säkerställande av bränsle, emissionskrav och miljötillstånd. Den kanske tuffaste utmaningen av alla ligger hur industrin kan expandera och samtidigt reducera sin andel av CO₂-emissionerna. Luftfartsverket, LFV, har satt ett mål att reducera användningen av fossila bränslen och koldioxidutsläppen med 50 % inom tre år. För nästa steg har LFV initierat detta projekt att utreda de tekniska och ekonomiska möjligheterna för ett bioraffinaderi i anslutning till Arlanda flygplats. Två lokaliseringar (Brista och Igelsta) och två olika anläggningskonfigurationer har studerats, en med bio-jetproduktion och en med en intermediär FT-produkt som uppgraderas vidare vid ett raffinaderi. Anläggningen är designad för förgasning av biomassa och Fischer-Tropsch syntes med samtidig värmeproduktion. Beräkningsbasen har varit en produktion om 50 000 ton årligen då det skulle kunna möjliggöra Arlanda som en koldioxidneutral flygplats.

Utsläppen inom vilken Arlanda skulle vara koldioxidneutral definieras enligt LTO-cykeln (Landing and Take Off), dvs. all trafik under 3000 fot, se figuren nedan.



Figur 59. Illustration av ingående moment i LTO-cykeln (Landing and Take Off)

Figure 59. Illustration of LTO cycle

Sammanfattningsvis skulle en bio-jetprodukt säkerligen bli accepterad som en blandningskomponent till konventionellt jetbränsle och där denna rapport undersöker två typer av anläggning på två platser och med en intermediär produkt är konceptet redan idag konkurrenskraftigt. Det är därför en rekommendation att detta arbete fortsätts med mer detaljerade studier med leverantörskontakter och vidare teknisk optimering. Det är fundamentalt med en lokalisering vid ett kraftvärmeverk för fjärrvärmeproduktion med option för kraftproduktion men också för logistiken för biobränslet.

5.1.3 Järnvägstransport av biobränslen, rapport 1138

Landtransport av biobränslen sker i huvudsak på landsväg. Om transporter möjliggörs över långa sträckor till mycket avlägsna områden skulle även sådana biobränsletillgångar som tidigare varit svåra att finna lönsamhet i att utvinna kunna göras tillgängliga. För att sådana transporter av biobränslen ska bli aktuella är det angeläget att skapa system som gör det möjligt att föra över stora delar av transportarbetet från landsväg till järnväg. Det är också angeläget att den miljöfördel som skapas genom att använda förnyelsebara råvaror i värmeproduktionen inte går förlorad genom användning av miljömässigt sämre transportlösningar. När nya anläggningar som planeras för att kunna ta emot järnvägstransporter byggs behövs underlag för att dimensionera mottagningsplatsen på ett bra sätt.

Projektet har haft till uppgift att beskriva hur järnvägstransporter av biobränslen till värme- och kraftvärmeverk i Sverige ska kunna öka. Det har gjorts genom att skapa unika transportlösningförslag för transportrelationer mellan fem kraftvärmeverk, som har utgjort typfall, och fyra avsändande järnvägsterminaler samt en hamn. Varje relation är unik och har skapats utifrån rådande förhållanden hos respektive mottagande och avsändande terminal. Typfallen ingår i målgruppen som utgörs av värme- och kraftvärmeverk i Sverige som önskar använda järnvägstransporter av biobränslen, oavsett mottagningsförutsättningar. Syftet med transportlösningarna är att visa vilka faktorer som påverkar kostnadsbilden för järnvägstransporten, mer än bara transportavståndet, samt vilka miljövinster som kan uppnås genom att överföra transportarbetet från landsväg till järnväg.

Utifrån kartläggningar av mottagande typfall, avsändande terminaler och bränsleupptagningsområden har transportlösningförslag för 23 relationer skapats. Alla med så liknande avgränsningar gällande vagnar och lastbärare som rådande förhållanden på respektive terminal tillåter. Varje relation berör transport mellan en avsändande och en mottagande terminal. Potentialen för bränsletillgångarna i de olika upptagningsområdena har kvantifierats för att säkerställa vilken nivå på bränslebehov som kan tillgodoses för varje typfall.

De avgörande faktorerna för kostnadsbilden i transportlösningarna är antalet möjliga omlopp och den transportkapacitet dessa medför. Antalet omlopp varierar mellan 64, 96 och 160 och beror mer på rådande förhållanden på terminalerna än avståndet dem emellan, även om det senare har betydelse. En annan faktor, som är svår att värdera i kronor och ören, är att järnvägen medför en betydligt lägre miljöpåverkan än lastbil för samma transportarbete med avseende på växthusgaser och farliga ämnen.

Det finns mycket stora kostnadsbesparingar att göra i rationellt utformade terminaler i en transportrelation för tågtransporter i den storleksklass som krävs för biobränsletransporter. Utifrån resultaten i rapporten kan kunskap erhållas om vilka faktorer som spelar störst roll för kostnadsbilden i ett sådant transportsystem.

De transportlösningar som presenteras i rapporten är högst realistiska och skulle absolut medföra en stor ökning av järnvägstransporter av biobränslen till värme- och kraftvärmeverk i Sverige om de skulle omsättas i praktiken.

5.1.4 Elkraftproduktion ur processgas som idag facklas, rapport 1163

Det finns en ökande medvetenhet om att processgaser, såsom associerade gaser vid oljeutvinning och olika restprodukter vid tillverkning av flytande naturgas (LNG), kan användas för kraftproduktion. Effektiv energiomvandling genom utnyttjande av gasturbiner är lönsamt både ur miljö- och ekonomiperspektiv jämfört med att destruera processgaser i fackla.

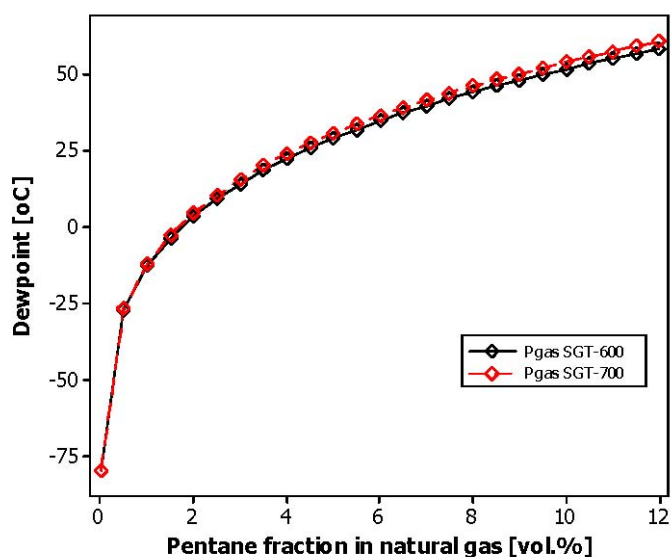
Gas med en förhöjd andel tunga kolväten brinner generellt sett snabbare och mer intensivt jämfört med naturgas. I gasturbiner med så kallad förblandad, lågemitterande förbränningsystem, kan detta leda till förändringar i flamläge och förbränningsstabilitet vilket i sin tur kan ha påverkan på emissionerna från gasturbinen, dess livslängd och körbarhet.

Föreliggande arbete har som mål att bevisa potentialen att driva Siemens standard SGT-600 och SGT-700 på bränsle med förhöjd halt av tunga kolväten. Pentan (C_5H_{12}) användes som modellsubstans för tunga kolväten. En anläggning för att dosera och blanda pentan med naturgas konstruerades och byggdes vid Siemens leveranstestrugg i Finspång. Drift i de två maskinerna demonstrerades med blandat bränsle vid olika laster.

Resultaten visar att båda maskinerna kan köra stabilt på bränsle med upp till 10% volymprocent pentan. D.v.s. stabilt i bemärkelsen att inga förändringar i förbränningsdynamik kunde noteras och styrsystemet reglerade som normalt. Ingen påverkan på temperaturfördelningen genom turbinen kunde detekteras och en inspektion av brännkammaren efter provet visade inte på något oväntat. En svag ökning i emissioner av kväveoxider (NO_x) och en samtidig minskning av kolmonoxid (CO) kunde konstateras vilket troligen förklaras av en något mer intensiv förbränning och lokalt högre flamtemperaturer.

Oförutsedda problem tillstötte när de externa testlaboratorierna skulle analysera insamlade gasprov. Om dessa problem hade förutsetts hade förebyggande arbete lagts ned för att utvärdera olika analysmetoder och hitta en fungerande metod. Felmarginalen på den uppskattade pentanhalten under provet blir därför ganska stor, cirka 10% av volymkoncentrationen.

Sammanfattningsvis har projektet demonstrerat att SGT-600 och SGT-700 standard gasturbiner kan drivas på naturgas med upp till 10% volymprocent pentan med något ökande NO_x emissioner. Gränsen för pentaninblandning i proven sattes av gasens matningstemperatur och dess daggpunkt. Vid gastemperaturer lägre än daggpunkten bildas en flytande fas av pentan vilka kan orsaka okontrollerad förbränning och riskerar att skada brännarhårdvara. Med en förvärmad gas till gasturbinen skulle test av drift med högre halter av tunga kolväten vara möjlig.



Figur 60. Daggpunkten för naturgas med ökande andel pentan.

Figure 60. Dew point for natural gas with increasing pentane content.

5.2 Resurshushållning

Ökade krav på återvinning och hushållning med naturresurser tillsammans med höga avkastningskrav innebär att anläggningarna måste vara effektiva och ha hög verkningsgrad och tillgänglighet. Höga råvarupriser, t.ex. stål, och komplexa anläggningar som klarar ett brett bränslesortiment ger högre kostnader. Genom att öka drifttiden kan ekonomin förbättras.

Det gäller att få största möjliga utbyte per insatt råvara eller form av bränsle genom energieffektivisering i befintliga anläggningar. Det kan uppnås med ökad totalverkningsgrad, slutna system, ökat utnyttjande av spillvärme eller minskad förbrukning av el, bränsleråvara, vatten och kemikalier.

Målet är att ta fram koncept och utveckla teknik för effektivisering och resurshushållning vid produktion av el och värme. Det kan exempelvis gälla att effektivisera utnyttjandet av bränsle sett över ett större system. Syftet kan också vara att öka anläggningarnas el- och totalverkningsgrad, minimera förbrukningen av insatsråvaror i processerna och nyttiggöra restprodukterna.

Inom systemteknik har 1 projekt slutförts inom delområdet "Resurshushållning".

Tabell 14.

Tabell 14. Projekt inom resurshushållning under programperioden 2008-2011

Table 14. Project on resource management in the program period 2008-2011

Titel/utförare	Rapport nr
Mikroskopiska alger som kombinerad koldioxidsänka och energikälla i Sverige /SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	1185

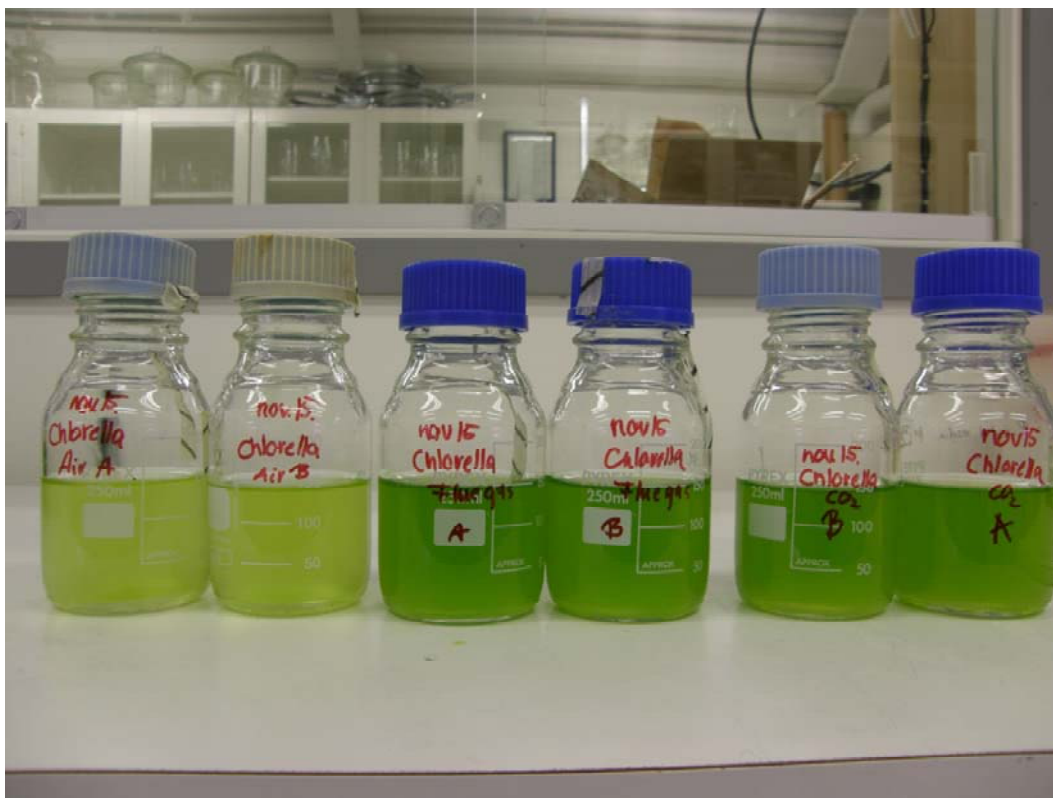
5.2.1 Mikroskopiska alger som kombinerad koldioxidsänka och energikälla i Sverige, rapport 1185

Mikroskopiska alger växer mycket fort, kan sköras ofta och klarar sin tillväxt med koldioxid, solljus och viss övrig näringstillförsel. Alger har den stora fördelen att de inte kräver produktiv odlingsmark för att odlas. Kombinationen med algodling genom utnyttjande av koldioxid från industrin samt biobränsleproduktion har blivit mycket intressant i samband med klimatdebatt och behov av nya biobränslen.

Syftet med undersökningen var att titta närmare på hur mikroskopiska alger kan användas i svenskt klimat och få en viss överblick över användning av alger för energisyfte och dess potential för svenska förhållanden samt få resultat från laboratorieförsök. Information och resultat från projektet ska nå ut till så många intressenter som möjligt för att öppna upp för framtida forskning, utveckling och industriverksamhet inom området. Arbetet har utgjorts av litteraturstudier, konferensbesök, personliga kontakter, företagsbesök, laboratorietester och analyser samt energianalyser.

Resultatet visar att alger fixerar koldioxid effektivt och kan växa bra i hög koldioxidhalt och rökgaser om temperatur och pH kontrolleras. Uppvärmning med spillvärme till ca 15-25°C är nödvändigt utom möjligen mitt i sommaren. Under den mörka delen av året behövs tillsats av ljus för att i första hand öka antalet ljustimmar, i andra hand för att öka ljusintensiteten. Laboratorieresultaten visar att med uppvärmning och extra belysning eller tillsats av organisk näring t ex via avloppsvatten vintertid kan man få en torrviktsproduktion på 0,1 g/l och dag (~36 kg/m³ reaktor/år) eller mer med rätt art och bra omrörning vilket möjliggör odling året runt. Optimeringsmöjligheterna är många. Typ av odlingskärl, material och skördemetod behöver man titta närmare på men många förordar fotobioreaktorer. Val av odlingsmetod beror även på algart. Val av art beror i sin tur på syftet med odlingen. Lipidinhållet i cellerna kan öka vid odling i rökgaser och i våra försök var triglyceridhalten högre i "svältfas" än i tillväxtfas. Biogaspotentialen verkar stor om man använder rätt art. Energianalysen visade att man måste minimera energikostnader vid algodling. Processer och biobränsletyp att satsa på bör utvecklas i ett industrisamarbete och anpassas till lokala förhållanden, partners och närhet till resurser. Lönsamheten är tveksam i nuläget men förbättringar sker på många områden.

Studien ger en översiktlig sammanställning av relevant litteratur inom området mikroskopiska alger som fixerare av koldioxid i kombination med biobränsleproduktion. Laboriestudier har utförts med artificiellt solljus på ett nytt sätt som bättre simulerar verkligheten och många nyttiga erfarenheter om möjligheter och problem som kan inträffa i pilotskala har därför erhållits redan på laboratorienivå. Informationen kan användas av industrin som utgångspunkt för vidare diskussioner på till att börja med lokal/regional nivå om specifika system för algodling och tänkta produkter/resultat som är intressanta på respektive plats. Studien ger också idéer och en bra grund för kommande forskningsprojekt. Målet med projektet var att undersöka algers potential som koldioxidsänka och energikälla i Sverige och svaret är att potentialen finns men det behövs fortsatt forskning och optimering av systemen för att tekniken ska bli kostnadseffektiv.



Figur 61. Jämförelse mellan flaskor bubblade med luft, rökgas respektive 10% CO₂.

Figure 61. Comparison between cultures bubbled with air, flue gas and 10 % CO₂.

5.3 Energikombinat – lokala och regionala energilösningar

Synergier finns mellan energiföretag och tung processindustri, som antingen kräver energi i form av ånga eller el eller som ger värme och/eller andra biprodukter som kan nyttiggöras av energiföretaget. Genom samarbete med andra branscher och sammankopplingar av industrier med fjärrvärmenäten och/eller kraftvärmeverk finns goda möjligheter att skapa effektiva energisystem. Totalverkningsgraden blir högre än för en anläggning där enbart processånga produceras och den årliga drifttiden kan förlängas i jämförelse med en anläggning för fjärrvärme.

Lokala odlare kan satsa på energigrödor när det finns ett långsiktigt samarbete med ett kommunalt energiverk, en biogasanläggning eller en industri som producerar alternativa drivmedel.

Målet är att studera energikombinatlösningar där synergieffekterna ger effektiva energisystem och god hushållning med resurser. I arbetet skall hänsyn tas till lokala och regionala förutsättningar som påverkar möjliga samverkansformer mellan energiföretag och annan industri. Resultaten skall vara generellt tillämpbara och fokus ska ligga på industriella processer och system. Systemstudierna ska vara tillämpbara även i andra applikationer än en specifik lokal lösning.

Inom systemteknik har 12 projekt slutförts inom delområdet "Energikombinat – lokala och regionala energilösningar". Tabell 15

Tabell 15. Projekt inom energikombinat- lokala och regionala energilösningar under programperioden 2008-2011.

Table 15. Project on energy integrated plant- local and regional energy solutions in the program period 2008-2011.

Titel/utförare	Rapport nr
Optimal integrering av energianvändningen vid energikombinatet i Norrköping /Grontmij AB	1149
Integrering av biogaseldad gasturbin i kraftvärmeanläggning /Lunds Universitet	1164
Absorptionsteknik med multifunktion i fjärrvärmesystem /KTH	1141
Ökat elutbyte i biobränsleeldade kraftvärmeanläggningar med hjälp av förtorkning /S.E.P Scandinavian Energy Project	1151
Förgasning för bränsleproduktion i stor- och småskaliga energikombinat /S.E.P Scandinavian Energy Project	1150
Fjärrvärme för utökad biogasproduktion /ÅF-Consult AB	1122
Ökat fjärrvärmeutnyttjande med hjälp av absorptionstekniken /ÅF-Consult AB	1152
Värmebehandling av trä - integrering med kraftvärmeproduktion och fjärrvärme /ÅF-Engineering AB	1179
Optimal råvaruinsats och utnyttjandegrad i energikombinat för värme, el, biodrivmedel och avsalubräsle /S.E.P Scandinavian Energy Project	1187
Kritiska faktorer för lönsam produktion i bioenergi kombinat /ÅF-Engineering AB	1224
Anaerob rening på reningsverk med utnyttjande av överskottsvärme från kraftvärmeverk eller processindustri /Pöyry Sweden AB	1199
Högtemperaturförbehandling av biogassubstrat med fjärrvärme för ökad biogasproduktion /SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	1201

5.3.1 Optimal integrering av energianvändningen vid energikombinatet i Norrköping, rapport 1149

Det finns både befintliga och planerade biogasanläggningar som ligger i nära anslutning till kraftvärmeverk och energikombinat. Av dagens befintliga biogasanläggningar är emellertid endast ett fåtal etablerade i närheten av kraftvärmeproduktion där värme från kraftvärmeverket används för uppvärmning av röt-kammaren. Det finns ännu inga exempel i Sverige på integrering av ånga från ett kraftvärmeverk till gasrening och torkning vid en biogasanläggning.

Genom att använda värme från energikombinatet kan mer producerad biogas användas till exempelvis fordonsbränsle, istället för att gå till uppvärmning av röt-kammare, gasreningsanläggning eller torkning av restprodukt. Målet med projektet är att analysera anläggningsdelar i en biogasanläggning där det är aktuellt med integrering av värme-flöden samt jämföra vilka alternativa tekniker och integreringsmöjligheter som finns. Målgrupp för studien är industrier med tillgång till organiskt material aktuellt för biogasproduktion samt värmeproducenter som kan leverera värmeenergi till biogasanläggningar.

Projektet har genomförts genom att information insamlats om energikombinatet på Händelö utanför Norrköping där det idag finns ett kraftvärmeverk, en etanolfabrik och en biogasanläggning. Fallstudier för det studerade energikombinatet har utförts med förslag till hur värmeflöden från kraftvärmeverket och etanolfabriken ytterligare kan integreras med biogasanläggningen. Som fallstudier har såväl dagens utformning av biogasanläggningen studerats, som ett fiktivt fall där hälften av all drank antas gå till biogasproduktion istället för till foder.

Fallstudierna visar att för dagens biogasanläggning är det inte ekonomiskt att byta ut befintlig gasreningsteknik med vattenabsorption mot kemisk absorption. Uppgraderingskostnaden med vattenabsorption vid dagens mindre anläggning är 0,11 kr/kWh och för att erhålla samma totalkostnad med kemisk absorption krävs ett ångpris på 0,15 kr/kWh. För stora gasflöden har kemisk absorption en fördel då tekniken lämpar sig bättre för uppskalning medan vattenabsorption måste levereras i flera linjer. Dock krävs avsättning för spillvärme från kemisk absorption för att tekniken ska vara konkurrenskraftig. Om spillvärme från både vattenabsorption och kemisk absorption kan avsättas har båda teknikerna en uppgraderingskostnad på 0,05 kr/kWh för stora gasflöden. Då ingen avsättning föreligger blir uppgraderingskostnaden för vattenabsorption och kemisk absorption 0,07 respektive 0,10 kr/kWh för stora uppgraderingsanläggningar med givna förutsättningar i rapporten.

För realisering av stora biogasanläggningar är det en central fråga att finna system för hantering av biogödsel. I rapporten har ett system studerats med koncentrerings till pellets genom mekanisk avvattning, indunstning, torkning och pelletering. Studien visar att koncentrerings kostar 1800 – 2100 kr/ton pellets beroende på utformning av torkanläggning. För att koncentrerings och torkning inte ska innebära en kostnad måste energipriset för pellets vara 0,40 – 0,5 kr/kWh enligt fallstudier. Näringsinnehållet i biogödselpellets motsvarar med dagens gödselpriser knappt 1300 kr/ton.

Torkning av drank till foder i jämförelse med om hälften av dranken används till biogas har jämförts i rapporten. Känslighetsanalyser visar att de båda koncepten med dagens förutsättningar ger likvärdigt resultat.



Figur 62. Lantmännens etanolanläggning i Norrköping

Figure 62. Lantmännen ethanol plant in Norrköping

5.3.2 Integrering av biogaseldad gasturbin i kraftvärmeanläggning, rapport 1164

Sverige har godkänt EU-fördraget att ha 20 procent förnyelsebar energi 2020 och biogas kommer sannolikt att få en betydande roll för att uppnå denna nivå. Biogas kan, under vissa förutsättningar, eldas i en gasturbin med god verkningsgrad. Maximal verkningsgrad för en kombianläggning är 60 procent, men det gäller bara större anläggningar. Med mindre gasturbiner går det inte att nå en tillräckligt god verkningsgrad till en rimlig kostnad.

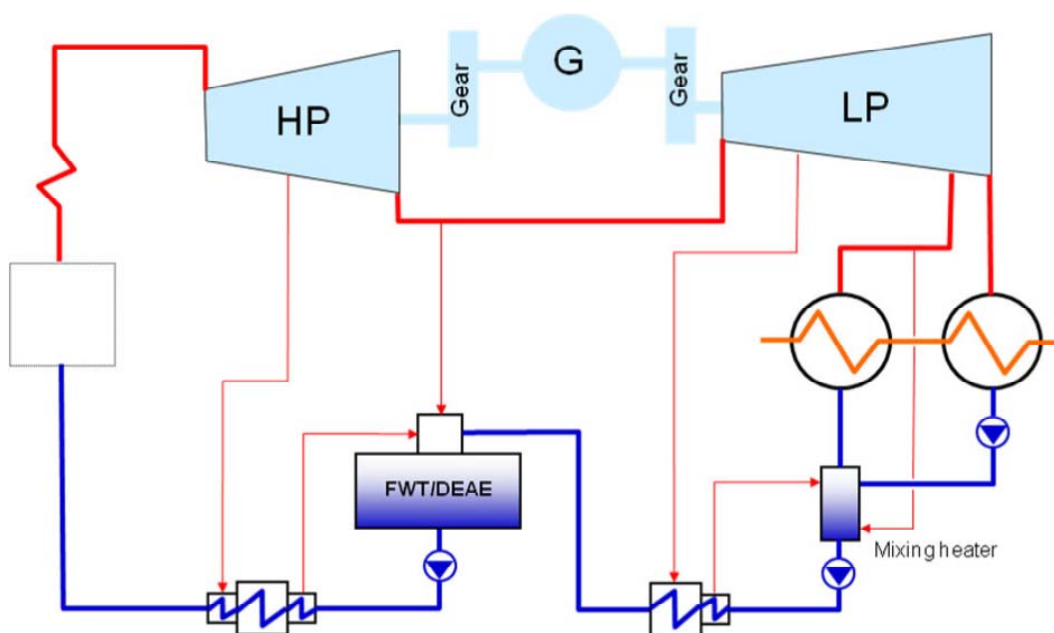
Mindre gasturbiner ger ibland mycket låga volymflöden ånga som kan resultera i mycket små ångturbiner eller delpådrag, båda med potentiell låg verkningsgrad. Ett alternativ är att koppla in gasturbinen i förvärmkedjan på ett kraftverk. Denna teknik är i dag kommersiell och finns exempelvis på DONGs anläggning Avedøre II i Köpenhamn. Denna förstudie syftar till att undersöka potentialen för att integrera en biogaseldad gasturbin i ett typiskt och existerande svenskt/nordiskt kraftvärmeverk.

För att integrera gasturbinen i ångcykeln på ett effektivt sätt är det viktigt att de varma rökgaserna utnyttjas på ett termodynamiskt effektivt sätt. Mängden energi som tas tillvara bestäms huvudsakligen av skorstenstemperaturen, som i sin tur bestäms av matarvattentemperaturen in i den första förvärmaren.

Kraftvärmeanläggningen i Enköping har använts som plattform eftersom den kan ses som en typisk anläggning för svenska förhållanden. Valet av Enköping begränsar inte

allmängiltigheten eftersom det är förhållandet mellan gasturbinens värmeeffekt och uppvärmningsbehovet i förvärmarkedjan och eventuell reheat som bestämmer lämplig gasturbin.

Verkningsgraden för eldad gasturbineffekt kan jämföras med en motsvarande storleks kombicykel. Nivåer överstigande 45 procent är möjliga med två Solar Mercury 50 inkopplade i förvärmarkedjan och reheat. Motsvarande nivå med Siemens SGT100 är 40 procent.



Figur 63. Kopplingsschema kraftvärmeverket i Enköping

Figure 63. Enköping CHP layout

5.3.3 Absorptionsteknik med multifunktion i fjärrvärmesystem, rapport 1141

Värmedriven värmepumpsteknik är en relativt gammal teknik för vilken förnyat intresse har utvecklats under 1980-talet och framåt. Anledningen är möjligheter till bättre användning av energiinnehållet i ett bränsle där ett exempel är uppgradering av spillvärme från rökgaskondensering med s.k. absorptionsvärmepumpar. Inom ramen för IEAs värmepumpsprogram utfördes en sammanställning av absorptionsteknik år 2000. Hinder för ökad implementering som då lyftes fram var höga investeringskostnader och bristande kunskaper hos ingenjörer och andra aktörer.

Projektet har haft som huvudmål att, med utgångspunkt från tidigare studier om absorptionsteknik i fjärrvärmesystem, utreda tekniska och ekonomiska förutsättningar för att använda absorptionsteknik med multifunktion för ökad energiservice i fjärrenergisystem. Som metod har använts en kunskapssammanställning med fokus på pågående och utförda projekt de senaste 20 åren, samt teoretisk modellering av

absorptionstekniken för tekno-ekonomisk designutvärdering av kraftkyla och fjärrvärmedriven ångproduktion.

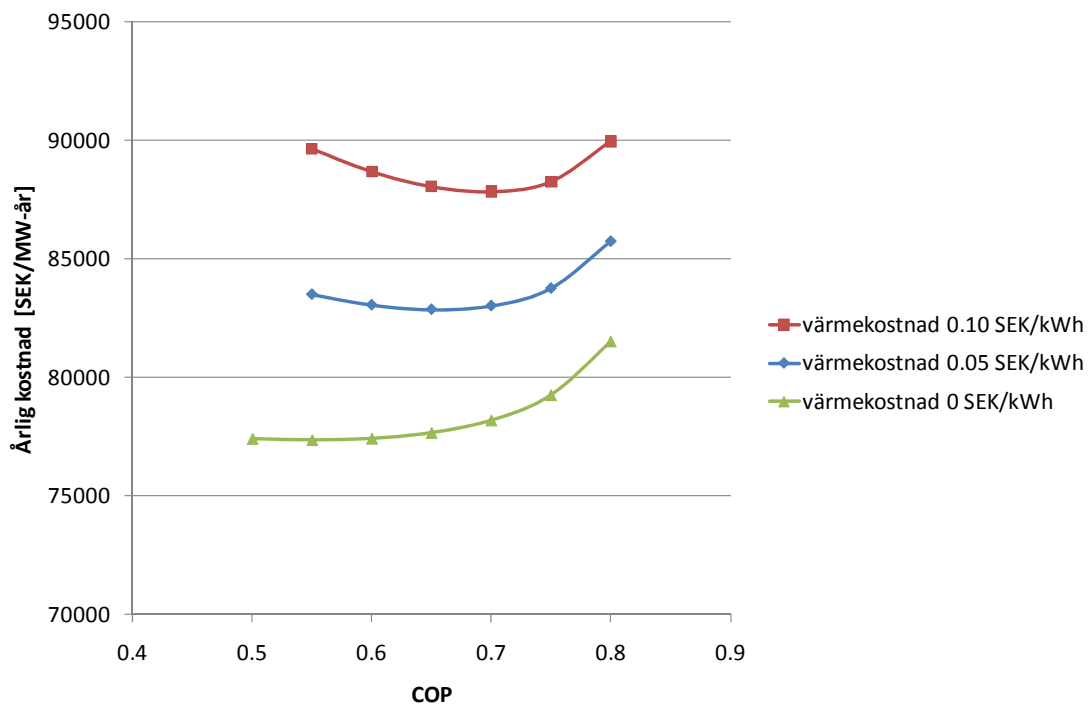
Resultaten visar att absorptionsteknik för värmepumpande tillämpningar (inkl kylproduktion) har en intressant fördel jämfört med kompressionsteknik genom att behovet av primärenergi per producerad enhet nyttig energi är mindre. Absorptionsteknik hjälper dessutom till att kapa behovstoppar i ett tidvis ansträngt elsystem.

Kraftkyla som koncept är på stark frammarsch, särskilt i Europa, vilket bör göra det möjligt för framtida FoU-satsningar att satsa på fjärrvärmeanpassning av tekniken. Rapporten lyfter fram möjligheter att specialdesigna absorptionskylmaskinen för bra integrering i fjärrvärmesystem, t ex för:

- (tillräckligt) hög COP (*Coefficient Of Performance*) och goda dellastegenskaper för drivtemperaturer ned till 70 °C.
- god avkylning av hetvattenström som levererar drivvärmén
- kostnadsminimering genom optimal utformning av överföringsytor (värme och materia) i maskinen.

Absorptionsvärmepump integrerad med rökgaskondensering är redan idag lönsam – rapporten visar hur utvecklingspotentialen i första hand gäller att med ett systemperspektiv överväga möjligheten att nyttja utrustningen som kylmaskin sommartid, samt både vår och höst. Som värmefaktor (eller temperaturstegrare) är absorptionsteknik intressant för fjärrvärmedriven ångproduktion. Med en värmefaktor på nära 0,5 kan fjärrvärme vid 85 °C t ex användas för produktion av ånga vid 130 °C. Kostnadseffektiviteten är lovande (under 20 €/ton möjligt) men starkt beroende av priset för fjärrvärmén.

Sammanfattningsvis framhäver arbetet vikten av att i ett kraftvärmesystem anta en helhetssyn på produktion av is, kyla, och värme då kostnadseffektiva lösningar med absorptionsteknik projekteras.



Figur 64. Årlig kostnad som funktion av COP och värmepreis.

Figure 64. Annual Cost vs COP and price of heat.

5.3.4 Ökat elutbyte i biobränsleeldade kraftvärmeanläggningar med hjälp av förtorkning, rapport 1151

Det finns fördelar med att torka biobränsle före förbränning. Genom torkning ökar bränslets effektiva värmevärde, vilket kan förbättra utnyttjande av insatt bränsle. Vid en kraftvärmeanläggning erhålls en ökad elverkningsgrad som en positiv följd av förtorkning.

Rådande trend visar på stigande priser för el och biobränsle. Detta ökar incitamentet för att öka elutbytet men att samtidigt hushålla med bränsleresurser. Utnyttjande av lågvärdig värme såsom fjärrvärme för torkning av biobränsle medför ökat värmeunderlag i systemet. Detta bidrar till att öka elproduktion och till att förlänga driftsäsong för en kraftvärmeanläggning.

Projektet har genomförts i form av fallstudier, där följande alternativ beaktats:

1. Torkning on-site vid befintlig kraftvärmeanläggning med integrerad bäddtork. Den kraftvärmeanläggning som finns i Enköping, tillhörande ENA Energi AB har stått modell för denna studie. Jämförelse har gjorts med samma anläggning utan integrerad bäddtork.
2. Torkning on-site vid en fingerad och optimerad kraftvärmepanna med integrerad bäddtork. Pannan antas ha så höga ångdata som kan tänkas vara möjliga för en ny panna inom överskådlig framtid. Rimliga data för sådan panna antas här vara 170 bar, 540°C

med mellanöverhettning. Jämförelse har gjorts med samma anläggning utan integrerad bäddtork.

3. Torkning off-site. Detta innebär att torkning av bränsle sker på annan plats än vid den anläggning, där det skall användas som bränsle, exempelvis vid ett massabruk. I övrigt gäller samma förutsättningar som i alternativ 2.

Beräkningar har genomförts med hjälp av en datormodell där huvudkomponenter såsom panna, turbin och tork simulerats och studerats som ett sammanhängande system. Modellen har anpassats utifrån driftsdata och vissa antaganden för ENA-fallet. Studien visar att utnyttjande av fjärrvärme som värmekälla för förtorkning av biobränsle ger fördelar i form av följande:

Ökat effektivt värmevärde per kg TS och därigenom ett mer effektivt utnyttjande av bränslet för elproduktion.

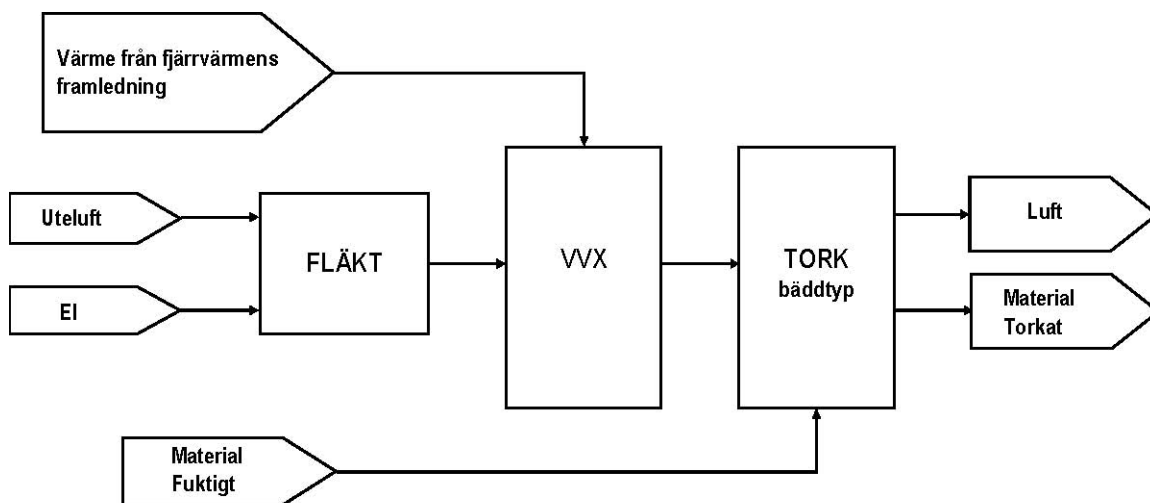
Ökat värmeunderlag och därigenom möjlighet till ökad elproduktion.

De beräkningar som i denna studie gjorts för ENA Energi AB:s kraftvärmeanläggning med integrerad bäddtork visar att det är möjligt att öka elproduktionen med cirka 10 % vid torkning från 50 % till 38 % fukthalt med hjälp av fjärrvärme.

För ett fall med en mer el- och energioptimerad panna visar det sig att man kan öka elproduktionen med 65 %. Förtorkning från 50 till 10 % fukthalt för en anläggning med integrerad tork ökar elverkningsgraden från ungefär 34 till 40 % räknat på effektivt värmevärde i leveranstillstånd.

Elutbytet på extra tillfört bränsle blir i fallen med integrerad torkning minst 55 %. För den optimerade pannan visas att pannverkningsgraden i ångproduktionen räknat på det effektiva värmevärdet är 90,8 % för fallet med 10 % fukthalt medan den är 86,8 % för fallet med 50 % fukthalt. Vid eldning av fuktigt bränsle kan inte bränslets energi tillgodogöras lika väl vid höga temperaturer.

Lönsamhet för förtorkning av bränsle är starkt beroende av kvoten mellan elintäkt och bränslepris (kr/MWh). Denna kvot skall överstiga 2 för att förtorkning skall vara lönsamt. Även torkning på annan plats kan vara intressant och studien visar på att anläggningsägarens betalningsförmåga för torkat bränsle jämfört med fuktigt bränsle räknat på bränslets torrsustans ökar med 20 % för en optimerad kraftvärmeanläggning trots att rökgaskondensering tillämpas.



Figur 65. Processchema för torksystemet vid ENA kraftvärmeverk

Figure 65. Process diagram for the bed drying system at ENA CHP plant

5.3.5 Biomassaförgasning för bränsleproduktion i stor- och småskaliga energikombinat, rapport 1150

Med anledning av det ökade behovet av effektiv och klimatvänlig energi har förgasningstekniken fått sig ett uppsving de senaste åren. Speciellt har fokus legat på produktion av biobränslebaserade fordonsbränslen. För att erhålla en hög utnyttjandegrad av biobränslet diskuteras olika typer av energikombinat. Projektet har undersökt hur en förgasare och tillhörande uppgraderingsprocesser på olika sätt kan integreras med befintlig industri och kraftvärmeproduktion:

- Integration med fjärrvärmeproduktionen i en större kommun
- Integration med fjärrvärmeproduktionen i en mindre kommun
- Integration med ett massabruk

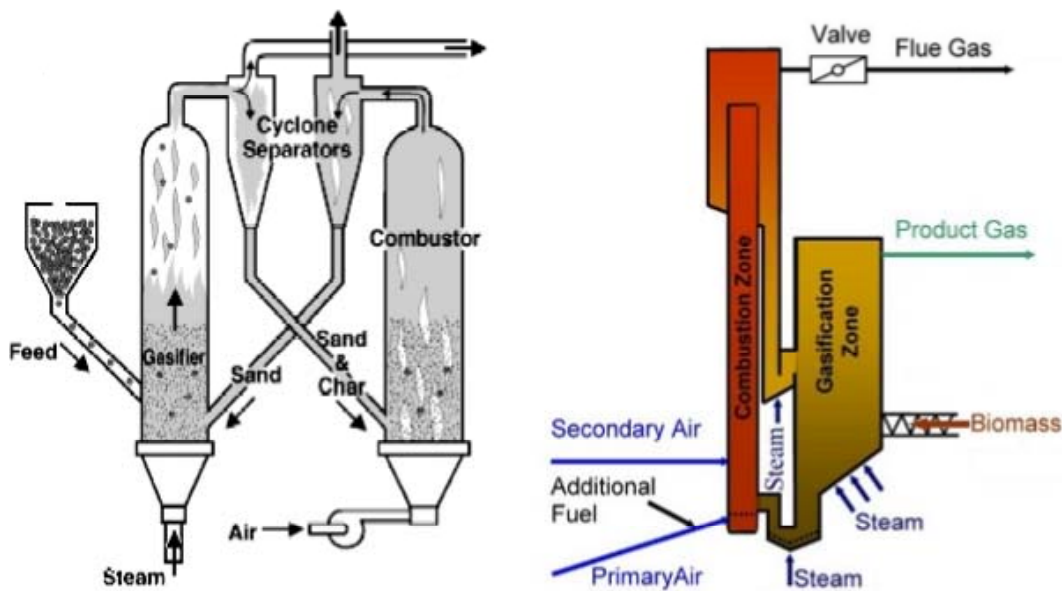
Totalt har sex olika alternativ till kombinat studerats, vilka utgår från de tre platserna nämnda ovan. Mass- och energibalanser baserade på data från anläggningar och litteratur har ställts upp och utvärderats. Fyra av alternativen tar upp drivmedelsproduktion, där produkterna är metan, metanol och DME. Dessutom har effekten av att ersätta oljebränslet i ett massabruks mesaugn med gengas studerats, liksom möjligheten till samproduktion av gengas och fordonsbränsle (metan). Både fristående förgasningsanläggningar och påbyggnad av befintlig fluidbäddpanna enligt konceptet med Chalmersförgasaren (Battellekonceptet) har studerats. Sammanfattningsvis har följande fall studerats:

- Metanproduktion genom ångblåst pannintegrerad förgasare (10 MW)
- Metanproduktion genom ångblåst tvillingbäddsförgasare (100 MW)
- Metan- och metanolproduktion genom ångblåst tvillingbäddsförgasare (100 MW)

- DME-produktion genom trycksatt syrgas- och ångblåst CFB-förgasare (100 MW)
- Bränngasproduktion genom luftblåst CFB-förgasare (26 MW)
- Metan- och bränngasproduktion genom syrgas- och ångblåst CFB-förgasare (46 MW)

Resultaten från beräkningsfallen visar på att det är energimässigt gynnsamt att integrera en förgasare med en befintlig panna. Med avseende på marginalbränsle är utbytet för en metanproducerande pannintegrerad förgasare över 80 %, vilket kan jämföras med en icke integrerad förgasare där utbytet är över 70 %. Anläggningen för ren DME-produktion gav knappt 65 % utbyte. Samproduktion av metan och metanol visade sig ge ett något högre utbyte än ren metanproduktion, knappt 75 %, men en något lägre total energieffektivitet då även el- och fjärrvärmeproduktion inkluderas. Högst totala energiutbyte på 99 % gavs av bränngasproduktion på ett massabruk, följt av samproduktion av bränngas och metan med 89 %. De utbyten som erhållits vid beräkningarna är relativt höga och ska ses som potentialen för tekniken, det teoretiskt möjliga.

H₂/CO-förhållandet varierar för de olika förgasningskoncepten mellan 0,9 och 3,8, vilket påverkar hur processen nedströms bör se ut. Även hur mycket koks som bildas i förgasningsreaktorn har visat sig ha stor betydelse för processen; mycket koks innebär ett sämre produktutbyte. Stor koksmängd kan också innebära att förhållandet mellan väte och kol i syntessteget blir för högt. Motsvarande effekter gäller även för mängden tjära som bildas.



Figur 66. Två olika typer av bäddmaterialtransport, bilden till vänster visar Ferco/Battelle-konceptet och bilden till höger visar konceptet som används på Güssingförgasaren.

Figure 66. Two different types of bed material transportation, the picture to the left shows the Ferco/Battelle concept, and the picture to the right shows the concept used in the Güssing gasifier.

5.3.6 Fjärrvärme för utökad biogasproduktion, rapport 1122

Biogas produceras idag på många avloppsreningsverk och i några s.k. samröttningsanläggningar där insamlat organiskt material rötas. Processtemperaturen är vanligen 36°C, (mesofil rötning), men även termofil rötning vid ca 55 °C förekommer. Vid samrötning av animaliskt material som förekommer i exempelvis hushållsavfall finns ett krav på hygienseringssuppvärmning till 70 °C i 1h, för att minska smittspridningsrisken. Detta kan även komma att krävas för avloppsslam för att få tillåtelse att sprida det för gödsling.

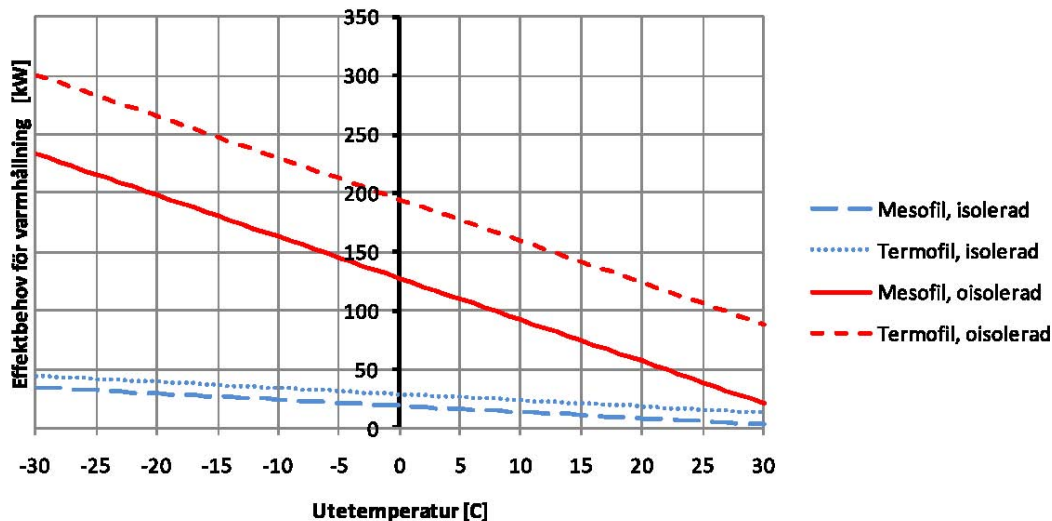
Biogasen har ursprungligen framförallt eldats för uppvärmning av processen och egna lokaler eller facklats då den inte behövs. Under de senaste åren har biogas i ökad utsträckning använts som ett förnybart drivmedel i fordon. Genom att använda fjärrvärme för uppvärmning kan mer biogas användas som fordonsgas och därmed bidra till att öka användningen av förnybara drivmedel. År 2006 uppgick användningen som fordonsgas i Sverige till ca 220 GWh (totalt 1200 GWh).

Tekniska förutsättningar, potential och ekonomin för att öka nettoproduktionen av biogas genom att använda fjärrvärme för uppvärmning för olika anläggningstyper och storlekar har undersökts. Fjärrvärmens är tänkt att ersätta den biogas som behövs för uppvärmning så att mer biogas kan uppgraderas och säljas som fordonsgas

Data om storlekar på befintliga anläggningar har använts för att härleda samband mellan anläggningsstorlek och total rötchammarvolym samt area. För olika storlekar har uppvärmnings- och varmhållningsbehov beräknats så att värmeenergibehovet kan uppskattas för en viss anläggningstyp och storlek. För en medelstor anläggning har noggrannare beräkningar gjorts av effekt- och temperaturbehov som genom resultaten från en känslighetsanalys delvis kan uppskattas för andra förutsättningar och storlekar.

Inkoppling av fjärrvärme bör göras som en indirekt inkoppling där en undercentral förvärmer hetvattnet innan en redan befintlig (gas)panna. Temperaturkravet på fjärrvärmevattnet är ca 84 – 86 °C för en hygieniseringsprocess. För en mesofil och en termofil process utan hygienisering är kravet ungefär 53°C respektive 72 °C. En framledningstemperatur på 85 °C ger en retur på ca 71 °C.

För ett medelstort (100 000 pe, personekvivalenter) avloppsreningsverk (mesofil rötning) uppgår värmeenergibehovet till ca 1350 – 2100 MWh/år som genom inkoppling av fjärrvärme kan ersätta 0,23 - 0,36 miljoner Nm³ internt eldad rågas. Täckningsbidraget uppskattas idag till ca 270 – 320 kr/MWh vilket ger en årlig besparing på i medeltal ca 460 – 540 kkr/år. För en välisolerad och välutformad samröttningsanläggning (ca 40 000 ton substrat eller ca 2800 ton TS) kan den årliga nettointäkten uppgå till ca 280 – 330 kkr/år (1000 MWh/år) och ca 670 – 790 kkr/år (2500 MWh/år) för en mesofil respektive termofil process.



Figur 67. Uppskattat effektbehov för varmhållning som funktion av utetemperaturen för en tänkt anläggning dimensionerad för 100 000 pe (RK-volym = 5200 m³) eller motsvarande ca 47000 ton våtvikt substrat (faktisk mängd)

Figure 67. Estimated duty to compensate for heat losses as a function of the outdoor temperature for a plant designed for 100 000 pe (digester volume = 5200 m³) or corresponding to 47000 ton wet substrate (actual annual amount).

5.3.7 Ökat fjärrvärmeutnyttjande med hjälp av absorptionstekniken, rapport 1152

Svenska fjärrvärmeföretag levererar idag värme genom fjärrvärmenätet till absorptionskylmaskiner som producerar klimatkyla eller processkyla lokalt. Även om detta innebär att värme i en kraftvärmeprocess utnyttjas bättre under en sommarperiod finns begränsningar i tekniken. Den främsta är att temperaturen i utloppet från kylmaskinens generator är för hög i förhållande till den temperatur som råder i nätets returledning, med bl.a. sämre elutbyte i produktionsanläggningen som konsekvens.

I utredningen undersöks absorptionstekniska system och systemkopplingar som kan ge en lägre utloppstemperatur, och därmed lyfter bort nuvarande begränsning. Detta kan i princip uppnås antingen med kylmaskiner som kan drivas vid lägre temperaturer än konventionella enstegsmaskiner eller med maskiner som kan ge en större avkylning över generatorm. Fokus är på effekter på 1 MW kyla eller mer.

Följande typer av kommersiellt tillgängliga absorptionskylmaskiner har förutsättningar att svara mot uppdragets mål:

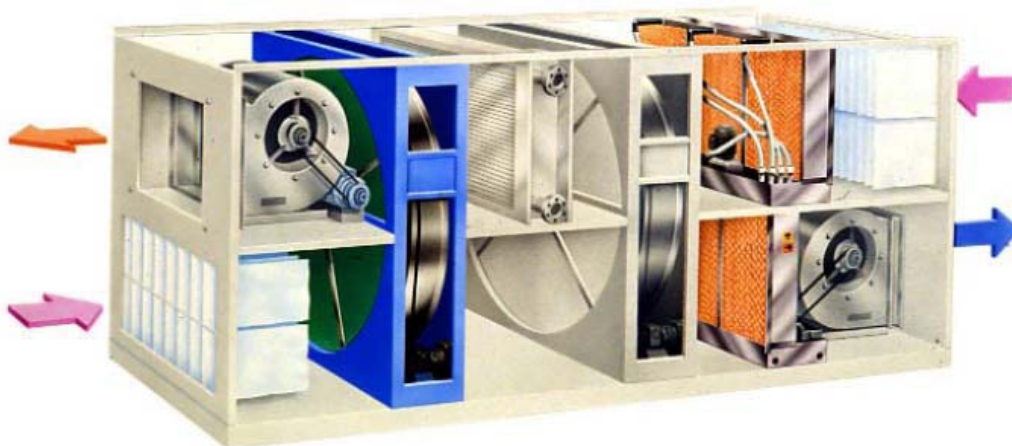
- Två kaskadkopplade enstegs absorptionskylmaskiner
- En avancerad s.k. SE/DL maskin
- Sorptiv/evaporativ kylning, s.k. DEC(Desiccant Evaporative Cooling)
- Samt möjligen vissa typer av adsorptionskylmaskiner

Överlag kan det vara värt att se över temperaturkraven i förångare (12/6 °C) och i återkylaren (t ex 35/29°C) med syftet att sänka temperaturen i generatorm. En närmare

teknisk/ekonomisk analys av en SE/DL (SE-enstegs maskin, DL- double lift, tvåstegsmaskin) i ett verkligt fall rekommenderas, gärna med en demonstration som mål. Sorptiv/evaporativ kyla (DEC) är intressant och dess inverkan på värmebehoven bör utredas.

Några former av användning av restvärmets efter utloppet från absorptionskylmaskinens generator till varmvattenberedning har undersökts. Som förväntat leder varje form av utnyttjande av värmets till lägre temperaturer när vattenflödet leds in i fjärrvärmesystemets returledning. Att producera el i t.ex. en ORC (Organic Rankine Cycle) i stället för att producera varmvatten ger el och en god avkylning, men det är tveksamt om det är ekonomiskt intressant.

I en avslutande fas i uppdraget genomfördes en översikt över den moderna utvecklingen av arbetsmedier (köldmedium och absorbent). Hittills har inga andra par än de klassiska paren ammoniak/vatten och vatten/litiumbromid använts i serietillverkning. Nyheter under senare år som bör bevakas är nya typer av adsorbenter (adsorptionskyla och sorptiv kyla) som kan ge lägre regenereringstemperaturer och flytande organiska salter, "ionic liquids" som absorbenter.



Figur 68. Översiktbild över ett DesiCool® aggregat

Figure 68. Overview of a DesiCool® aggregate

5.3.8 Värmebehandling av trä - integrering med kraftvärmeproduktion, fjärrvärme, rapport 1179

Genom värmebehandling av trä ändras träets egenskaper så att det tar upp mindre fukt och därigenom får mindre svällning/krympning vid variationer i den omgivande luftfuktigheten. Virket får även förbättrad motståndskraft mot röta och kan därför i vissa applikationer ersätta tryckimpregnerat trä. Det värmebehandlade träet lämpar sig dock inte för direktkontakt med mark. Hållfastheten sjunker även vid värmebehandling och värmebehandlat trä rekommenderas inte för bärande konstruktioner.

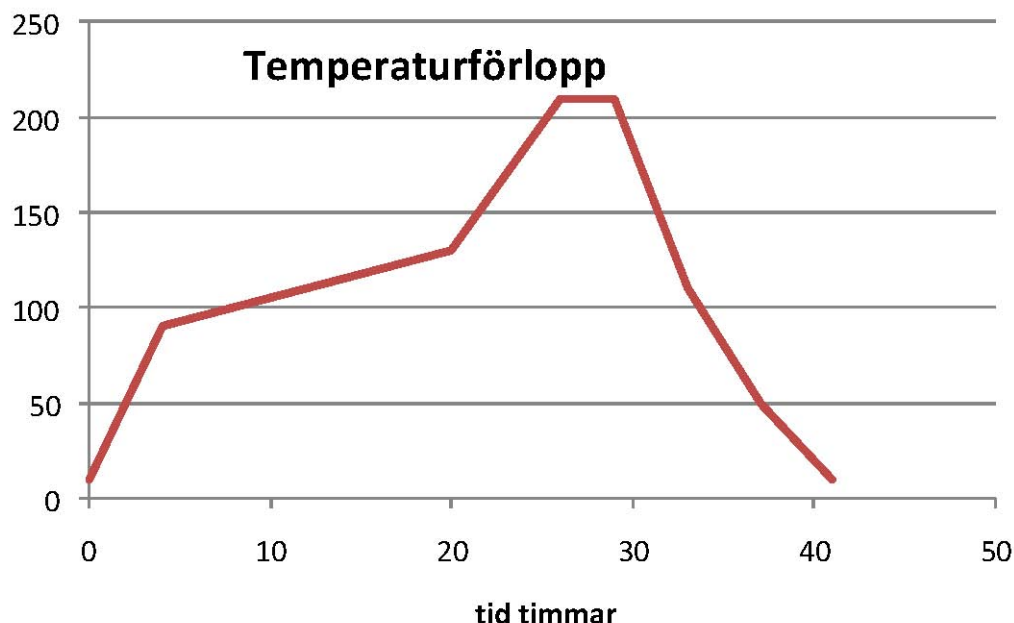
Inga som helst tillsatssämnen används vid behandlingen och det värmebehandlade träet är därför ur miljösynpunkt mycket fördelaktigt. Vid värmebehandlingen torkas träet till helt torrt och upphettas till ungefär 200 °C. Frågan har därför väckts om det är värdefullt att samlokalisera värmebehandlingsanläggningen med kraftvärme eller fjärrvärmeproduktion.

Eftersom de existerande anläggningarna är både få och små för en rättvis bedömning, har beräkningar med energibalanser gjorts för hur en stor anläggning skulle kunna utformas.

En marknadsstudie för att bedöma potentialen för den här typen av anläggningar visar att marknaden för värmebehandlat trä är mycket liten i dagsläget. En fullstor värmebehandlingsanläggning av den typ som skisserats i denna studie kan förmodligen inte byggas idag då även en enstaka sådan skulle kräva alldeles för stor del av marknaden. Potentialen för att ersätta tryckimpregnerat trä är å andra sidan stor. Eftersom framställningskostnaden för värmebehandlat trä i stor skala bör bli betydligt lägre än för tryckimpregnerat trä och hela kostnaden för hantering av miljöfarligt avfall bortfaller, finns det en förutsättning för en framtida mycket större volym av värmebehandlat virke.

Studien visar att den energimässiga vinsten av samlokalisering av värmebehandlingsanläggningar för trä med kraftvärme eller fjärrvärmeverk är av underordnad betydelse. Maximalt kan ungefär 0,5 MSEK/år sparas vid en anläggning på 25 000 m³/år. Den inledande virkestorkningen, som sker med allt sågat virke, har betydligt mer att tjäna på en samlokalisering, vilket trots det är mycket ovanligt idag.

Huvudslutsatsen av studien är att värmebehandling av trä förefaller vara mycket intressant, men samlokalisering med kraftvärme eller fjärrvärme är inte någon avgörande eller ens betydlig faktor.



Figur 69. Temperaturförlopp för torkning och värmebehandling.

Figure 69. Temperature curve for drying and heat treatment.

5.3.9 Optimal råvaruinsats och utnyttjandegrad i energikombinat för värme, el, biodrivmedel och avsalubränsle, rapport 1187

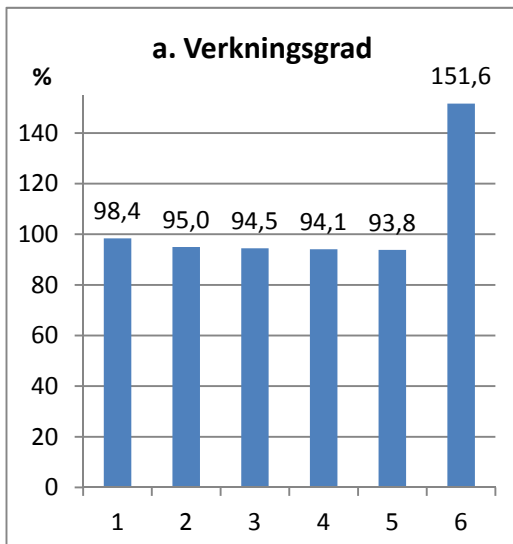
Energikombinat har i ett flertal studier visat sig ha en god energiekonomi. Kombinaten kan sättas samman på olika sätt och med olika slutprodukter, där de vanligaste är värme, el och pellets. Biodrivmedel är högtintressant, och ger mervärde åt ett traditionellt energikombinat. Målet med projektet är att leverera resultat i form av resurseffektivitet för olika energikombinat, utnyttjandegrad av en anläggning och investerings- och driftskostnad för de olika fall som studeras.

Fem olika energikombinat har studerats, alla med något olika upplägg. Gemensamt är att samtliga baseras på ett konventionellt kraftvärmeverk och att fjärrvärmeunderlaget är lika stort i samtliga fall (1000 GWh). Kraftvärmeverket har byggts ut med torkning, pelletsproduktion och drivmedelsproduktion i olika konstellationer:

- Fall 1: Kraftvärmeverk med hetvattenpanna som spets- och låglast
- Fall 2: Som fall 1 men med tork för torkning av bränsle till både kraft- och hetvattenpannor
- Fall 3: Kraftvärmeverk med tork för torkning av bränsle till kraftpannor och till pelletsfabrik
- Fall 4: Kraftvärmeverk med tork för torkning av bränsle till kraftpannor och drivmedelsanläggning, med hetvattenpanna som spets- och låglast
- Fall 5: Kraftvärmeverk med tork för torkning av bränsle till kraftpannor, pelletsfabrik och drivmedelsanläggning

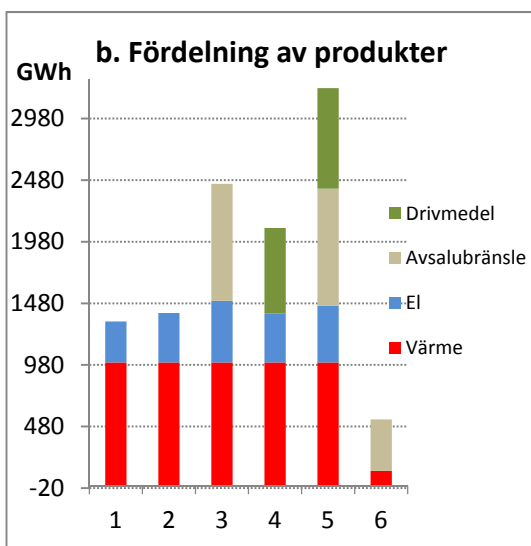
Fall 6: Som jämförelse finns även ett sjätte fall med, baserat på ett massabruk med värmeöverskott. I detta fall undersöks leverans av fjärrvärme och integration av en bäddtork i syfte att producera och sälja torrt bränsle.

I figur 70 a och 71 b visas de erhållna energibalanserna i form av totalverkningsgrader och den energimässiga produktfördelningen för de olika kombinaten.



Figur 70. Effektiv verkningsgrad för energikombinaten i grundfallen 1-6.

Figure 70. Effective efficiency of the polygeneration plants in base cases 1-6.



Figur 71. Produkternas fördelning i grundfallen 1-5, normerade till fjärrvärmeleveransen.

Figure 71. Distribution of products for base cases 1-5, normalized to the district heating delivery.

Både vid drivmedelsproduktion genom förgasning och vid pelletsproduktion krävs torkning av bränslet. Torken agerar som en stor värmesänka och bidrar alltså med ett

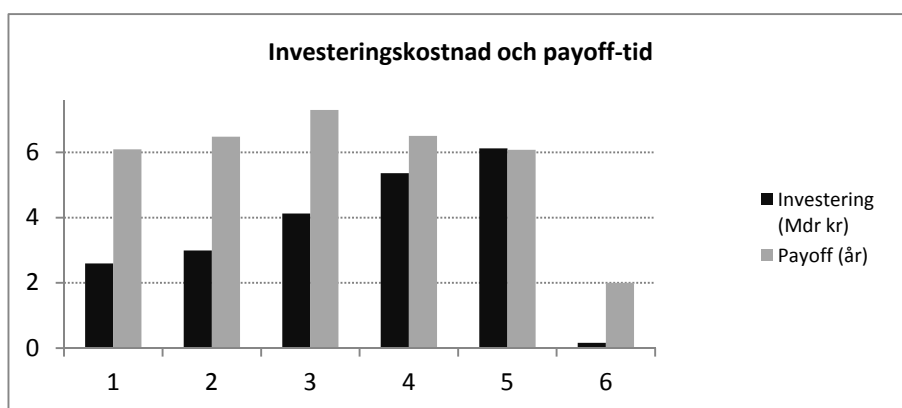
ökat värmeunderlag, vilket har visat sig ge flera fördelar bland annat genom att kraftvärmepannorna ges en längre driftsäsong. En längre driftsäsong tillsammans med torrare bränsle ger en ökad elproduktion, se figur 71 b.

Pelletsproduktion har visat sig vara det som ökar driftsäsongen och värmeunderlaget mest och därmed ger högst elproduktion. Pelletsproduktionen kan anpassas så att en av kraftpannorna alltid kan vara i drift, vilket visar sig i en bruttoelproduktion som är drygt 60 % större än för fall 1.

Metanproduktion genom förgasning av biobränsle ökar värmeunderlaget genom att torkning av bränsle till 10 % fukthalt krävs, men anläggningen genererar i gengäld en viss mängd fjärrvärme. Totalt sett ökar dock värmeunderlaget och bruttoelproduktionen jämfört med fall 1 och 2.

”Storkombinat” med torkning av bränsle till samtliga pannor samt pellets- och drivmedelsproduktion drar ner elnettot något eftersom både drivmedelsanläggningen och pelletsanläggningen har en relativt stor elkonsumtion. Leveransen av el är trots detta nästan 40 % högre än för fall 1.

Investeringskostnad och payoff-tid för grundfallen redovisas i figur 72 c.



Figur 72. Investeringskostnad och payoff-tid för grundfallen

Figure 72. Investment cost and payoff for the base cases

Payoff-tiderna för fall 1-5 är relativt likartade och varierar mellan 6-drygt 7 år. Av dessa uppvisar fall 1 och 5 den kortaste payoff-tiden.

Energibalansen i fall 6 är mycket gynnsam eftersom massabrukets spillvärme anses ”gratis”. Därmed erhålls en verkningsgrad på långt över 100 % på den marginaleffekt som bäddtork och fjärrvärmeleverans ger. Investeringen betalar av sig snabbt då massabruket torkar egenfallen bark med initialt lågt värde och säljer värme som annars hade gått till spillo. Även i det fall då spillvärme inte finns tillgängligt utan värme till torken måste produceras så uppvisas god ekonomi. Baserat på dessa resultat så rekommenderas ett från massabrukens sida ökat utnyttjande av spillvärme för

fjärrvärmeleverans och för uppvärmning av torkluft för torkning av egenfallen bark (eller andra bränslen).

Slutsatser från projektet:

- Baddtorkning av bibränsle ökar fjärrvärmeunderlaget och har dessutom visat sig vara en robust torkmetod. För de fall som studerats i detta projekt så rekommenderas baddtorkning före andra torkmetoder.
- Upplagring av torkat bränsle som en metod för att öka värmeunderlaget och förlänga kraftvärmepannans driftsäsong ger i resultaten ett visst ekonomiskt mervärde, men bör undersökas närmre för att säkerställa investeringskostnad.
- Drivmedelsproduktion via förgasning av biomassa är en relativt kostsam metod sett till investeringskostnad och tekniken är ännu ej kommersialiserad. Det ser därför ut som att det är några år kvar innan förgasning får en given plats i ett energikombinat.
- ”Storkombinat” med produktion av värme, el, pellets och biodrivmedel har visat sig vara ett av de mest ekonomiskt gynnsamma alternativen. Resultaten från projektet har visat på klara skalfördelar för denna typ av anläggning.
- Ett energikombinat med värme-, el- och pelletsproduktion uppvisar med dagens pelletspriser inte så god ekonomi som de andra fallen. Möjligheter för avsättning av pellets under sommarhalvåret påverkar ekonomin positivt eftersom pelletsproduktionen kan användas för att jämna ut värmeunderlaget.

Torkning och försäljning av egenfallen bark är lönsamt för massa- och pappersbruk.

5.3.10 Kritiska faktorer för lönsam produktion i bioenergikombinat, rapport 1224

De senaste 5-10 åren har stort forsknings- och utvecklingsfokus lagts på bioenergikombinat, för en samförläggning av kraftvärmeproduktion med produktion av annan (”grön”) produkt såsom ett biodrivmedel eller träpellets. Drivkraften för fjärrvärme- och kraftvärmeproducenters intresse för olika bioenergikombinatlösningar är den potentiella ökade lönsamheten som ökade värmeleveranser kan innebära. För pelletstillverkare eller biodrivmedelstillverkare är drivkraften för utveckling av bioenergikombinat möjligheten till billig processånga genom en samlokalisering. Dessutom kan i vissa kombinationer finnas andra fördelar som t.ex. gemensam råvaruhantering. För de biodrivmedelstillverkningsprocesser som genererar ett överskott av värme, vilket gäller för de olika förgasningsbaserade processerna, finns ett omvänt behov, då de behöver närhet till en infrastruktur med fjärrvärmenät för att kunna leverera restvärmen som genereras i processen och därmed kunna öka lönsamheten. Förutom dessa drivkrafter säger EU:s klimatmål att 10% av energianvändningen inom transportsektorn skall utgöras av biodrivmedel år 2020, och marknaden för biodrivmedel bedöms därmed vara god. Att förädla vår råvara så långt som möjligt till

högvärdiga produkter som pellets eller biodrivmedel bevarar industri och arbetstillfällen i Sverige samtidigt som det bidrar till uppfyllandet av internationella och nationella klimatmål.

Det övergripande målet med projektet har varit att sakligt beskriva de kritiska faktorer som är avgörande för möjligheten till lönsam samproduktion i bioenergikombinatform och hur de påverkar valet av lokalisering (inom Sverige). De faktorer som bedöms viktiga vid val av lokalisering för lönsam samproduktion i energikombinatform kan kategoriseras som:

- (1) Råvara
- (2) Distribution
- (3) Produkter
- (4) Integrering.

De aspekter som behandlas i projektet är av generell karaktär och vägledande för bolag som har ett intresse gällande bioenergikombinat. Projektet ger en överblick över vilka möjligheter som finns och vilka förutsättningar som krävs för uppbyggandet av lönsamma energikombinat. Målsättningen är att aktörer inom energiindustri och skogsindustri ska kunna använda resultaten i egna fortsatta mer detaljerade investeringsanalyser.

Projektet analyserar tre kombinalternativ:

- (1) Kombination av kraftvärmeproduktion och pelletstillverkning,
- (2) Kombination av kraftvärmeproduktion och etanolproduktion från skogsråvara och
- (3) kombination av Bio-SNG produktion och kraftvärmeproduktion.

De gemensamma kritiska faktorerna för lönsam produktion i bioenergikombinat kan summeras till *tillgång på råvara till så lågt pris som möjligt samt framtida förväntade försäljningspriser på produkterna.*

Tillgången på råvara, som i detta arbete begränsats till biomassa, och då främst skoglig biomassa, är en marknads- och prisfråga. Tillväxtmässigt och tekniskt sett kan tillgången anses vara god. Det råder dock konkurrens om råvaran vilket innebär att tillgången blir en prisfråga. Den med högst betalningsförmåga får sitt råvarubehov tillfredsställt. Potentialen för ökat uttag av stamved är på kort sikt begränsad. Den största potentialen för ökning av tillgången av skoglig biomassa är i form av de restprodukter som erhålls i samband med avverkning; grenar och toppar (grot) samt stubbar. Detta innebär att potentialen för ökat uttag, geografiskt sett, finns primärt i de områden som redan i dag har en omfattande avverkning av skog och där logistiken och hanteringen av skogsprodukter redan idag är utbyggd.

De förväntade framtida försäljningspriser beror bl.a. på styrmedel. De klimatrelaterade styrmedel som finns på nationell och internationell nivå har lett till och kommer även i framtiden att leda till en ökad efterfrågan på förnybara produkter, som exempelvis träpellets och biodrivmedel. Utformning av dessa styrmedel kommer att påverka vilken form av förnybara produkter som kommer att ha störst efterfrågan och vara mest lönsamma att producera, och troligen även lokaliseringen av produktionen. På kort och

medellångsikt kommer sannolikt efterfrågan på biodrivmedlen etanol och biogas/Bio-SNG² att vara fortsatt hög. Denna bedömning görs mot bakgrund av att etanol är lämplig som låginblandning i bensin och att tillåten andel inblandning av etanol har från 1 jan 2011 höjts från 5% till 10% samt att det redan finns viss utbyggd infrastruktur för biogas (och i Sverige för E85). Produktionskostnaden för etanol från skogsråvara är dock högre än världsmarknadspriset. För utvecklingen av etanol från skogsråvara blir då eventuella styrmedel och direktiv avseende hållbarhet och systemeffektivitet som kan ge en efterfrågan av etanol som styrs av etanolens ursprung avgörande. Dessutom visas i projektet att med dagens prisnivåer krävs ett kombinat som producerar en palett av olika förnybara produkter; etanol, grön el, fjärrvärme, pellets och biogas för att lönsamhet ska nås vid etanolproduktion. Produktionskostnaden för Bio-SNG är högre än försäljningspriset på naturgas vilket innebär att Bio-SNG produktion för införande på naturgasnätet utan någon form av grön kreditering är inte lönsam.

Mervärdet av integrering, d.v.s. det ökade driftsöverskottet eller rörelseresultatet som en samlokalisering av olika produktionsanläggningar kan ge, varierar mellan de olika studerade bioenergikombinaten. Jämförelser har gjorts mellan produktion i kombinat och fristående produktion. För alla tre studerade bioenergikombinaten innebär integreringen ett mervärde, men för etanolkombinatet är det en förutsättning för lönsam produktion.

En optimal lokalisering av ett bioenergikombinat innebär en placering ”mitt i råvaran”. Det innebär

- en placering med mycket god tillgång på råvara lokalt,
- närhet till en storstad (>100 000 invånare) som har ett stort fjärrvärmebehov året om,
- närhet till hamn och järnvägsanslutning för att möjliggöra kostnadseffektiva transporter av råvaror och produkter, samt
- närhet till ett naturgasnät för biogasproduktion i etanolkombinatet och Bio-SNG produktionen.

I alla de beräknade bioenergikombinatalternativen förutsätts efterfrågan av fjärrvärme. Slutligen bör här kommenteras att fjärrvärmebehovet tillgodoses idag genom befintliga (lönsamma) produktionsanläggningar. Därför kan ett energikombinat inte erhålla intäkter från fjärrvärme utan att annan mindre lönsam, eller föråldrad fjärrvärmeproduktion trängs ut eller att fjärrvärmebehovet ökar genom nyanslutningar. Detta är troligen möjligt endast på ett begränsat antal platser i Sverige.

² Bio-SNG: biogas som bildats via förgasning (SNG: Synthetic Natural Gas)

5.3.11 Anaerob rening på reningsverk med utnyttjande av överskottsvärme från kraftvärmeverk eller processindustri, rapport 1199

Svenska, kommunala reningsverk (VA-verk) renar avlopp från hushåll och industrier genom kombinationer av mekanisk, biologisk och/eller kemisk rening. Normalt avskiljs 35-70% av allt organisk material (COD) som slam vilket kan rötas till biogas i totalomblandade tankreaktorer. Större delen av resterande COD oxideras till CO₂ i luftade, aeroba system. Luftningen kräver mycket energi samtidigt som energin som finns bunden i CODn till stor del går förlorad som värme.

Målet för projektet var att utvärdera möjligheterna att utnyttja även den lösta CODn för biogasproduktion genom att ersätta delar av den aeroba reduktionen av inkommande COD med anaerob rening men samtidigt bibehålla en bra kväverening.

Grundprincipen för föreslagen reningsprocess är att ta en delström (ca 50%), efter befintlig försedimentering, värma och behandla denna anaerobt i en UASB- (upflow anaerobic sludge blanket) reaktor. Det renade vattnet leds därefter till kväverening och därefter tillbaka till befintlig biologisk rening. Värmebehovet kan fyllas genom användande av överskottsvärme från närliggande processindustri eller kraftvärmeverk.

Försök i labbskala med UASB-reaktorer utfördes för tre olika temperaturer 25°C, 30°C och 35°C, med vatten från Slottshagens reningsverk i Norrköping. Resultaten från försöken visar att man i en storskalig anläggning kan räkna med ca 60% COD-reduktion. Ingen skillnad i COD-reduktion kunde ses mellan de olika testade temperaturerna för den belastning som testades, ner till 1,5 h uppehållstid och vatten med en COD-halt på ca 170 mg/l. Anammoxtester på det utgående vattnet från reaktorerna visar att denna metod kan fungera som ett alternativt kvävereningssteg på ett vatten som detta där en stor del av CODn reducerats.

För ett anaerobt reningssteg som klarar att ta hand om halva flödet på ett reningsverk liknande Slottshagens Reningsverk i Norrköping med en belastning på ca 150 000 PE och med ett flöde på i snitt 2150 m³/h beräknas investeringskostnaden exklusive markarbeten och gasuppgraderingsanläggning till ca 33 MSEK. För ett hälften så stort reningsverk beräknas investeringskostnaden till ca 19 MSEK. Den större anläggningen beräknas producera ca 2,8 GWh biogas/år och den mindre ca 1,4 GWh biogas/år.

Driftskalkylen för det större VA-verket ger ett driftöverskott på 3,1 MSEK/år och för det mindre VA-verket ett driftöverskott på 1,5 MSEK/år om priset för värmets inte tas med i kalkylen. Det större VA-verket kräver ca 140 GWh värmeenergi per år och det mindre kräver ca 70 GWh värmeenergi per år. För att få ekonomisk lönsamhet krävs en värmekälla med låg kostnad och det fysiska avståndet till denna får ej vara för långt. Alternativt kan värmeintegrering krävas åtminstone vintertid för att minska värmebehovet.

5.3.12 Högtemperaturförbehandling av biogassubstrat med fjärrvärme för ökad biogasproduktion, rapport 1201

Effekterna av att förbehandla substrat till en samröttningsanläggning och en röttkammare på avloppsreningsverk har undersökts. Förbehandlingen sker med fjärrvärme av hög temperatur (80–110°C). Arbetshypotesen var att förbehandlingen ökar biogasutbytet samtidigt som kraven på hygienisering uppfylls. Idag sker uppvärmning av substrat mestadels genom att biogas eldas i en panna som värmer en hetvattenkrets. Genom att i stället värma substraten med fjärrvärme skulle all producerad biogas kunna uppgraderas till t.ex. drivmedelskvalitet. Samtidigt förloras ingen elproduktion i kraftvärmeprocessen på grund av att ånga förloras genom direktinjektering. En ökad biogasproduktion med denna typ av förbehandling skulle kunna ge klart bättre driftekonomi. För energibolagen kan denna förbehandling potentiellt utgöra en ny applikation för fjärrvärme.

Substrat från Uppsala biogasanläggning har använts samt slam från Kungsängens avloppsreningsverk i Uppsala. Substrat förbehandlades på labb vid förbestämda uppehållstider (0,5–2 h) och temperaturer (60–100°C). Detta för att efterlikna förhållanden som kan uppstå vid fjärrvärmeförvärmning av substrat. Det förvärmade substratet rötades därefter och metanutbytet uppmättes och jämfördes mot icke förbehandlat substrat (referens). Analys av patogener genomfördes för att se om förvärmningen kunde vara lämplig metod för att klara lagstadgade hygieniseringskrav. Utöver detta genomfördes en systemanalys för att utvärdera om fjärrvärme som används som värmekälla kan ge ökad mängd såld biogas, dels genom det utökade utbytet, dels genom att biogas inte behöver brännas för att värma reaktorer.

I studien genomfördes ett flertal försök. Utröttningsförsök av substrat från Uppsala biogasanläggning gav inte någon ökning av varken metanpotentialen eller omsättningshastighet vid förbehandling vid 100°C i en timme; därför gjordes inga vidare studier på detta substrat. För slam från Uppsala avloppsreningsverk gav två betingelser ökning av metanpotentialen med förbehandling:

- Behandling vid ca 100°C (1 h) gav en signifikant ökning av metanpotentialen: 15 % i N-ml CH₄/g VS och 28 % i N-ml CH₄/g våtvikt.
- Behandling vid 85°C (1 h) resulterade i en tendens (men ej signifikant) till ökad metanpotential på 11 % i N-ml CH₄/g VS och 7 % i N-ml CH₄/g våtvikt jämfört med obehandlat slam.

Förutom en högre metanpotential motsvarade behandlingarna vid 85°C också de hygieniseringskrav som gäller för biogödsel enligt ABP-lagstiftningen (ABP-Animaliska BiProdukter). Energimässigt pekar resultaten på att en förbehandling av substraten innan rötning leder till en ökad metanproduktionshastighet (för uppehållstider kring 16 dygn) med praktiskt taget oförändrat värmebehov.

Den största osäkerheten i studien är att det studerade slammet är så heterogent att det är svårt att ge tydliga siffror för förbehandlings effektivitet. Målet för detta arbete var att ge en uppfattning om hur värmebehandling vid olika temperaturer och behandlingstider kan påverka metanpotentialen. Men för att statistiskt säkerställa resultaten behövs fler replikat av samma slam undersökas.

5.4 Kunskapsluckor

Inom systemteknik har nedanstående områden identifierats som viktiga:

- Inventering av möjliga bränsleråvaror med avseende på logistik, systemutformning, miljö, ekonomi, styrmedel och risker. Ett viktigt område är bränsleflexibilitet och möjligheten att kunna använda olika bränslemixar. Exempel på annan verksamhet är logistik för t.ex. bränsle in och aska ut.
- Optimering av systemet bränsle, anläggning och produkt. Ett problemområde är målkonflikten mellan optimering av anläggningarna för högt elutbyte och kravet på bränsleflexibilitet. Ett högt elutbyte innebär ofta höga ångdata, vilket i sin tur begränsar valet av bränslen på grund av riskerna för överhettarkorrosion.
- Spillvärmeutnyttjande eller förädling av spillvärme. Ett exempel kan vara drift av absorptionsvärmepumpar för fjärrkyla.
- Energieffektivisering t.ex. genom att minska intern el- och värmeförbrukning i energianläggningar och skogsindustrins processer. Här kan man t.ex. identifiera hur ånga kan ersätta el i anläggningarna.
- Optimering av insatt råvara för att uppnå största möjliga nytta i form av produkter.
- Systemstudier av effektiv energiproduktion (högt alfavärde, bränsleflexibilitet, nya koncept med separateldad överhettare, hur höga prestanda och besvärliga bränslen påverkar tillgängligheten i pannor m.m.).
- Systemstudier för nyttiggörande av restprodukter såsom aska och värme från förbränningsanläggningar eller återföring av växtnäring från röttningsanläggningar. Det kan också handla om produktifiering, t.ex. bränslepellets från restprodukter etc.
- Teknik- och systemutvecklingsstudier för effektiv användning av värme. Målet är en ökad efterfrågan på produkten värme under framförallt låg- och mellanlastperioder för att möjliggöra högre elverkningsgrad.
- Utredda marginaleffekter vid ökad värmeförbrukning (värme till/från energikombinat, absorptionskyla etc.).
- Inventering av möjliga energikombinat i samverkan med andra industrier än Värmeforsks medlemsföretag.
- Ta fram goda exempel på det optimala lokala och regionala energikombinatet. Det kan vara processindustri som levererar spillvärme till ett fjärrvärmenät eller köper ånga från ett energiföretag. Det kan också röra sig om samarbete mellan biogasanläggningar och lantbrukare eller avloppsreningsverk och energiföretag. Både biogasanläggningar och avloppsreningsverk behöver processvärme. Ett exempel är att leda värme från fjärrvärmenätet till kommunala avloppsreningsverk där fjärrvärmen kan ersätta biogas för uppvärmning. Biogasen kan istället användas som drivmedel eller för elproduktion.
- Identifiering och avhjälpande av hinder för olika typer av kombinat och samarbeten.

5.5 Slutsatser

Teknikområdet har bidragit till att uppfylla 7 av de 9 Värmeforsks delmål för programperioden 2008-2011. Merparten av projekten (12 st) har behandlat energikombinat. Fyra projekt har rört bränsleförsörjning och ett resurshushållning.

Bränsleberedning i samband med kraftvärmeproduktion (pelletering, flytande och gasformiga bränslen) med möjliga koncept och råvaror till ett energikombinat. Möjligheten att öka lönsamheten i småskaliga kraftvärmeverk genom att producera ytterligare en nytting, exempelvis förtorkning av bränslet, har undersökts, liksom möjligheter till ökad resurseffektivitet för olika energikombinat, utnyttjandegrad av en anläggning och investerings- och driftskostnad för sex olika energikombinat. Även absorptionsteknik för utökad funktion i fjärrvärmesystem, d.v.s. kyla, el och värme har undersökts.

Tekniska och ekonomiska möjligheterna för ett bioraffinaderi i kombination med kraftvärme har studerats. Två olika anläggningskonfigurationer har studerats, en med bio-jetproduktion och en med en intermediär FT-produkt som uppgraderas vidare vid ett raffinaderi.

Biobränsle för kraftvärme baserad på gasturbiner har undersökts inom programområdet, beredning av biobränsle samt användning av biogaseldad gasturbin finns redovisat.

En för Sverige helt ny teknik där alger skall fungera som koldioxidsänka men också källa för energi har redovisats. Samtidigt har tekniken en potential att fungera som vattenrenare.

6 Resultatsammanfattning

Forskningsprogrammet har under programperioden 2008-2011 tagit ytterligare steg för att inringa problematiken och finna åtgärder mot de problem som uppstår vid bio- och avfallsbaserad produktionen av el och värme. Positionerna flyttas fram allteftersom kunskapen ökar, vilket gör att målet är kontinuerligt rörligt. Programmet gör en bred ansats avseende utveckling av produktionskapacitet inom flera olika teknikområden. Förbättrad ångprocess ger bäst förutsättningar för att öka elutbytet i kraftvärmeanläggningar med konkurrenskraftiga produktionskostnader. De mer avancerade ångdata som krävs för detta förutsätter användning av avancerade överhettarmaterial. Erfarenheter av användning av korrosionståliga material är begränsad vid biobränslleddning och forskning kring dessa är därför angelägna.

Basprogrammet har i hög grad har bidragit till att Sverige intaget en internationellt ledande position inom området biobaserade kraftvärmeverk med höga ångdata. Verksamheten inom detta område har rapporterats vid flera internationella konferenser.

6.1 Bränslefrågor

Bränslefrågor som rör användning av bränslen vilkas egenskaper avviker från de som vanligen används inom industrin har haft stort fokus under perioden. Sameldning, additiv, förändrad bäddtemperatur är exempel på områden som studerats för att möjliggöra en effektiv användning av nya bränslen.

Inom programperioden har halm, avfall, rötslam, bark, grot, rivningsvirke, bioolja, biogas, pellets liksom samförbränning av olika bränslen studerats. Matrisen för bränsleblandningar är näst intill oändlig, varför en sammanfattande rekommendation för alla bränslen inte är möjlig. *Miljöfaktabok för bränslen* samt *Bränslehandboken* som tagits fram inom programperioden sammanfattar mycket av den kunskap som tagits fram i de olika projekten. Miljöfaktaboken 2011 redovisar emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Rapporten ger förståelse för miljöbelastningar ur ett livscykelperspektiv avseende alla typer av bränslen. En unik kunskapskälla för miljöhushållning.

I branschen finns stort behov av att ersätta fossila bränslen i spets- och reservanläggningar med klimatvänligare alternativ. Bioolja och flytande bränslen är möjliga alternativ, och i basprogrammet har utredning gjorts kring förutsättningarna för biooljorna ur perspektiv som tillgång, etiska aspekter, hantering och konvertering.

Bränsle och korrosion

Inom programmet har studier av korrosionsproblem i eldstaden genomförts, framförallt för bränslena halm, salix och grot. Dessa bränslen har valts för att försöken ska representera så "svåra" bränslen som möjligt. Restprodukten lignin från etanoltillverkning, har testats och karaktäriserats ur förbränningsynpunkt.

Ett stort forskningsområde i Basprogrammet 2008-2011 är att försöka förstå och lösa problematiken kring högttemperaturkorrosion. I programmet har tagits ett större grepp för att överblicka och reda ut hur bränsle, beläggning, korrosion och bäddagglomerering hänger samman med val av konstruktionsmaterial och ångtemperaturer. Här redovisas hur smarta

val av bränsleblandningar tillsammans med tillsats av additiv, alternativt val av materialtemperatur kan minska de alkalirelaterade driftproblemen.

Jakten på nya intressanta additiv som minskar problemen med beläggning och korrosion är alltid aktuell i Värmeforsk. Ett intressant additiv som uppmärksammats i programmet är rötat kommunalt avloppsslam. I samband med dessa försök, uppstod frågeställningen om vilka mekanismer och vilka substanser som deltar i de kemiska reaktionerna. Fosfor är ett sådant ämne som *kan* ha potential som additiv som inverkar på beläggningsskiktets bildning och högtemperaturkorrosion. Slutsatserna av försöken visade att förbränningskemin är komplicerad, och ett flertal faktorer inverkar såsom alkali, kalcium, och fosfor. Additivförsök har även gjorts med tillsats av titanoxid, som används som pigment i målarfärg, och kan vara intressant vid samförbränning av exempelvis RT-flis. Att använda ren titan som additiv innebär alltför höga kostnader.

En metod för att minska beläggningar och korrosionsangrepp som studerats är att undvika förångning av alkalimetaller. Detta kan uppnås genom att hålla nere temperaturen i den zon där fastbränsle förgasas. Genom en sänkning av temperaturen i en fluidiserad bädd (FB) minskas mängden alkalimetaller (och zink) som lämnar bädden med förbränningsgaserna. Sänkt bäddtemperatur vid förbränning i fluidiserad bädd av svåra bränslen visar en möjlighet till mindre driftstörningar.

Bränsle och material

En sammanställning av dagens kunskap om material som kan användas vid förhöjda ångtemperaturer i returflis- och avfallsförbränningsanläggningar och även sodapannor har utförts. Sammanställningen omfattar eldstaden, överhettarna och ångledningar och ånglådor. Intressanta material och ytbehandlingar har identifierats. Det finns även en hel del aspekter när det gäller pannornas konstruktion, förbränningsteknik, etc. Det rekommenderas starkt att etablera erfarenhetsutbyte med den japanska industrin då anläggningar med hög ångdata har utvecklats och varit i drift före år 2000 i Japan.

Basprogrammet 2008-2011 har haft som mål att identifiera och rekommendera lämpliga material för ångdata kopplat till bränslen. I genomförda projekt ges rekommendationer för material till värmeöverförande delar i pannan för att uppnå en säker drift vid förhöjda ångdata upp till 600 °C. Identifierade material finns i allmänhet på marknaden men materialen är ofta dyra och kräver en annan processutformning för att ge högre elverkningsgrad och lönsam drift. En ökning av elverkningsgraden på 3 - 4 procentenheter kan genomföras t.ex. genom att höja ångtemperaturen från dagens nivå < 540 °C till uppåt 600 °C. Risken för korrosion ökar när ångtemperaturen höjs. Ökningstakten avseende korrosion varierar beroende på bränslen och material. Val av korrosionsbeständiga material är en insats för att komma åt problematiken, men även konstruktion av pannan och optimal placering av de mest korrosionsutsatta delarna är viktiga åtgärder.

Tubskyddsmaterial kan vara ett billigare alternativ i mycket korrosiva miljöer. I ett projekt har olika tubskyddsmaterial testats. Trots förhållandevis dyra tubskyddsmaterial visade sig materialförlusterna höga, vilket medför dyra materialkostnader för tubskydd. Resultat från projektet visar att mest motståndskraftigt mot materialavverkning var Kanthal APMT, därefter i följande rangordning; Kanthal APM, Haynes 556, Kanthal A-1, Kanthal AF och Hastelloy G-30.

Ett alternativ till tubskyddsmaterial som studerats i programmet är att behandla ståltuben med en beläggning som är keramisk eller med keramisk kompositbeläggning, så att ytan blir glatt. Glatta ytor förhindrar eller fördröjer bildning av beläggningar.

Eldstadskorrosion har blivit ett allt större problem i biobränsleeldade anläggningar. Korrosionen underblåses många gånger av att restriktioner på NO_x - utsläpp medför reducerande förbränning intill eldstadens väggar. I andra fall är det den understökiometrisk förbränningen som är den huvudsakliga orsaken till att korrosion uppstår. Med anledning av ökande problem initierades ett projekt där skydd mot eldstadskorrosion studerades i syfte att lyfta fram de metoder och de material som fungerar bäst. Särskilt har påsvetsning, som ett relativt billigt alternativ till compoundtuber, studerats. Resultaten visade att Alloy 625 har de bästa allroundegenskaperna. Alloy 625mod fungerar bäst i oxiderande miljö. Alloy 22 och Alloy 59 uppvisade något sämre korrosionsegenskaper samtidigt som de är dyrare än Alloy 625.

Att kunna mäta korrosionshastigheter i realtid har blivit allt viktigare i takt med att förbränningsanläggningar allt oftare väljer mer sämre och mer korrosiva bränslen. En helt ny metod för on-line mätning av korrosionshastigheter i panntuber har utvecklats kallat High Temperature Electro Magnetic Acoustic Transducers, HT_EMAT. Metoden mäter tubtjocklek on-line i austenitiska stål och legeringar och i ferritisk-austenitiska compundmaterial vid höga temperaturer, upp till 550 °C. En annan metod som studerats är electrochemical noise, som mäter linjär polarisationsresistens och gropfrätning.

Bränsle och emissioner

Programmet har bidragit till att ta fram kunskap som underlag för utveckling av kostnadseffektiv rökgasrening som avskiljer stoft, halogener, dioxiner och kolväten. Metoder för NO_x - avskiljning liksom sensorsystem för kontroll av SNCR och SCR ingår i resultaten. En teknik med vått elektrofilter för avskiljning av stoft redovisas, som uppges reducera stoftutsläppen med minst 97 % och samtidigt minskar energiförbrukningen med 50 %.

Forskningsinsatser om SCR-tekniken vad det gäller tillämpningar med biobränsle- och avfallseldade anläggningar har genomförts. Erfarenheter av katalysatorlivslängd, deaktivering, drift- och underhållsbehov diskuteras och pågående utveckling inom SCR-området, såsom nya katalysatormaterial och alternativa placeringar, samt hantering av uttjänta katalysatorer har redovisats.

6.2 Anläggningskoncept

Vid nyttjande av bio- och avfallsbränslen finns även behov av att utveckla teknik ur anläggningsteknisk synpunkt. I programmet har projekt genomförts kring bränsleberedning, förädling (torkning, pelletering, förgasning och förvätskning), bränsletransportutrustning, mätteknik (fukthaltsmätning, leveranskontroll, etc.) d.v.s. all kunskap och teknik för att hantera bränslen från det att de kommer innanför kraftverksstaketet till dess att bränslet matas in i förbränningsanordningen. I basprogrammet 2008-2011 redovisas studier om bränsleberedning av bioslam från pappersbruk samt en omfattande studie om hur bränsleberedning och förbränningsteknik för gasturbiner skall anpassas till biobaserade gaser.

Fukthalt är en central parameter hos biobränsle. Därför vill man på ett kostnadseffektivt sätt mäta fukthalt med en tillräckligt god precision och riktighet. NIR-mätning är av intresse därför att metoden ger ett mer representativt mätvärde för fukthalten i bulk samt därför att fukthaltsinformation erhålls i realtid. NIR-spektroskopin är idag en etablerad teknologi för analys av naturprodukter. Värmeforsk har i tidigare program genomfört studier för NIR-mätning. I ett fortsättningsprojekt har metoder för att utveckla ett helt automatiserat system tagits fram. Praktiska försök har visat att det är möjligt att med den valda utrustningen styra en mätprob till att ta ut prover vid slumpvis valda positioner över lasten.

Ökad elproduktion

Under programperioden 2008-2011 har området el från biobränslebaserade kraftvärmeanläggningar varit angeläget. Höga elpriser har gjort det intressant att finna tekniska lösningar för hur elverkningsgraden kan ökas, och även ur ett samhällsperspektiv finns ambitionen att öka elproduktionen från förnybara bränslen.

El från mindre anläggningar är ett forskningsområde som genomförts under programperioden. Olika koncept för biobränslebaserad småskalig kraftvärmeproduktion har studerats och utvärderats, såsom ångturbin, dieselmotor, ottomotor, konventionell gasturbin och ORC. Andra tekniker som nämns i utredningen är stirlingmotorer och kolvångmaskiner, även här måste tekniken anpassas till biobaserade bränslen och lönsamheten förbättras. Utredningen visar att för att få en låg produktionskostnad i små kraftvärmeanläggningar krävs det kostnadseffektiva robusta lösningar. För all småskalig kraftvärme har elcertifikaten en avgörande betydelse för lönsamheten.

Ökad elproduktion med höga ångdata har varit föremål för många utredningar. För en del anläggningar kan det emellertid vara mer intressant att utreda vilka ångdata som är *optimala* ur prestanda- och ekonomisk synpunkt. I en känslighetsanalys baserad på de viktigaste parametrarna för kraftvärmeverk med pannkapaciteter på 30, 80 och 160 MWt visar att i mindre anläggningar kan det finnas en indikation på ett visst optimum, 470 – 490 °C. I större anläggningar är kostnader för byte av överhettare accelererande mot vid högre ångdata, vilket innebär att kostnadsskillnaden i olika ångdataberoende delar blir av underordnad betydelse.

En annan möjlighet för att öka elverkningsgraden som studerats i programmet är att förtorka biobränsle. I detta forskningsområde har utretts hur förtorkning av biobränsle kan ge en betydande förhöjning av elutbytet vid en kraftvärmeanläggning. Resultaten visar att elverkningsgraden för en kraftvärmeanläggning med förtork skulle kunna överstiga 40 %, vilket är fullt i klass med ett kondenskraftverk. Lönsamheten med förtorkning är dock starkt avhängigt av el/bränslepriskvoten och denna kvot bör överstiga 2.

Att integrera en bioeldad gasturbin i förvärmkedjan i ett kraftvärmeverk ökar både anläggnings flexibilitet - och verkningsgrad. Principen är att man ersätter avtappningen från ångturbinen för matarvattenförvärmning med värme från gasturbinens avgaser. Man får då både bidraget från gasturbinens generator och ökad elproduktion i ångturbinen från ökat massflöde och reheat. Anläggningens värmeproduktion ökar också i förhållande till ökningen i elproduktion.

Ökat utnyttjande av fjärrvärme

Under de senaste 10 åren har Sverige haft en kraftig expansion av fjärrvärmeproduktion baserad på avfall eller på biobränslen. Till följd av ökade elpriser har nyetableringarna främst skett i form av kraftvärmeverk. Samtidigt pekar ett flertal utredningar på att värmeunderlaget i Sverige kommer att minska. Orsakerna är dels energieffektivisering, dels ett varmare klimat. För att kunna bibehålla en hög elproduktion i kraftvärmeverken har en viktig forskningsuppgift under programperioden varit att identifiera alternativa användningsområden för fjärrvärme.

Inom programmet har studier genomförts som har till syfte att öka fjärrvärmeutnyttjande med hjälp av absorptionsteknik. Idag levererar fjärrvärmeföretag värme till absorptionskylmaskiner som producerar klimatkyla eller processkyla lokalt. I utredningen undersöks hur absorptionstekniska system och systemkopplingar kan utformas för att lyfta bort nuvarande begränsningar. Detta kan i princip uppnås antingen med kylmaskiner som kan drivas vid lägre temperaturer än de konventionella enstegsmaskinerna eller med maskiner som kan ge en större avkylning över generatoren.

Genom att i kraftvärmesammanhang utnyttja fjärrvärme för att torka biobränsle till kraftpannor skapas ett ökat värmeunderlag och utrymme för ökad grön elproduktion. Användning av spillvärme för att torka egenfallen bark på massabruk och för att leverera fjärrvärme till närliggande ort studerades också, vilket i ett större perspektiv ger en minskad användning av bränsle och bättre lönsamhet.

Vid anaerob rening på reningsverk avskiljs normalt 35-70% organiskt material (COD) som slam vilket kan rötas till biogas. Resterade COD oxideras till CO₂ i luftade aeroba system. Luftningen kräver mycket energi samtidigt som den energi som finns bundet i COD går förlorad. Med hjälp av förvärmning kan biogasproduktionen öka genom att man därigenom även kan utnyttja den lösta CODn för biogasproduktion.

I programmet har försök genomförts där biogassubstrat förbehandlats med fjärrvärme av hög temperatur, 80-110 °C. Förbehandling vid dessa temperaturer ökar biogasutbytet samtidigt som kraven på hygienisering uppfylls. Idag sker uppvärmning av substrat mestadels genom att biogas eldas i en panna som värmer en hetvattenkrets. Genom att i stället värma substraten med fjärrvärme skulle all producerad biogas kunna uppgraderas till t.ex. drivmedelskvalitet.

Biogasproduktion

Potentialen för biogasproduktion, med avseende på metanpotential, från bioslam från massabruk inkluderande olika typer av massaprocesser och vattenreningsanläggningar har utvärderats. Den ekonomiska genomgången visar på att investeringen per producerad mängd biogas minskar med ökad storlek på anläggningen. Beroende på vad bioslammet används till idag så kan hanteringskostnaden både minska och öka och måste därför utvärderas från fall till fall.

För realisering av stora biogasanläggningar är det en central fråga att finna system för hantering av biogödsel. Ett system har studerats med koncentrerat till pellets genom mekanisk avvattning, indunstning, torkning och pelletering. För att koncentrerat och torkning inte ska innebära en kostnad måste energipriset för pellets vara 0,40 – 0,5

kr/kWh. Näringsinnehållet i biogödselpellets motsvarar med dagens gödselpriser knappt 1300 kr/ton.

6.3 Bioenergikombinat

Effektiva energisystem kan skapas genom samarbete mellan branscher och sammankopplingar av industrier med fjärrvärmenäten och/eller kraftvärmeverk. Totalverkningsgraden blir högre än för en anläggning där enbart processånga produceras och den årliga drifttiden kan förlängas i jämförelse med en anläggning för fjärrvärme.

Under programperioden har ett projekt initierats som avser en fallstudie för att analysera energikombinatet Händelö i Norrköping, där det idag finns en kraftvärmeanläggning, en etanolfabrik samt en biogasanläggning. Studien har analyserat integreringsmöjligheter med förslag till värmeflöden från kraftvärmeverket och etanolfabriken till biogasanläggningen. Utredningen omfattar även en jämförande analys om etanolfabrikens restprodukt drunk går till biogas eller till djurfoder.

Termisk förgasning av biomassa har åter kommit på tapeten med anledning av det ökade behovet av effektiv klimatvänlig energi. I programmet har en studie genomförts som undersöker olika alternativ till kombinat där en förgasare och tillhörande uppgraderingsprocesser kan integreras med befintlig industri och kraftvärmeproduktion. Resultaten visar att metan ger ett högre produktutbyte än DME. Högst produktutbyte fås med brännngas. Kolkonversion och tjärproduktion har relativt stor betydelse för processens energieffektivitet.

Termisk förgasning för produktion av biodrivmedel är högintressant, och ger mervärde åt ett traditionellt energikombinat. I en förstudie har framställning av flygbränsle i kombinat med el och värme medfört ny innovativ design av ett bioraffinaderi med integrerad produktion av flygbränslen, motorbränslen och el och värme med hög verkningsgrad. Anläggningen är designad för förgasning av biomassa med efterföljande Fischer-Tropsch syntes. Projektet har fått uppföljningar med planerade demoprojekt.

I programmet har en studie genomförts för att utreda vilka faktorer som är mest kritiska för att nå lönsam produktion i ett bioenergikombinat:

a) optimal lokalisering av ett bioenergikombinat innebär en placering ”mitt i råvaran”, d.v.s. med mycket god tillgång på råvara lokalt, b) nära en storstad (>100 000) som har ett stort fjärrvärmebehov året om, c) nära hamn och järnvägsanslutning för att möjliggöra kostnadseffektiva transporter av råvaror och produkter, d) närhet till ett naturgasnät för biogasproduktion i etanolkombinatet och Bio- SNG produktion. Integrering av bioenergikombinat innebär ett mervärde i de flesta fall, men för etanolkombinat är det en förutsättning för lönsam produktion.

För att effektivisera utnyttjandet av bränsle sett över ett större system, har i programmet projekt genomförts där optimal råvaruinsats i olika konstruktioner av energikombinat studerats. Resultaten visar att maximalt utbyte av produkt gentemot insatt biobränsle fås med massabruk som använder spillvärme för fjärrvärmeleverans och torkning av

egenfallen bark, vilket även ger kortast pay-off tid. Av de kraftvärmebaserade energikombinaten ger ”storkombinatet” med fyra olika produkter överlag bäst marginaleffektivitet och ekonomi.

Värmebehandling av trä integrerat med kraftvärmeproduktion är ett annat område där man energimässigt kan göra en vinst genom att samlokalisera värmebehandlingsanläggningar för trä med kraftvärme eller fjärrvärmeverkverk. Trä som torkas helt och upphettas till ca 200 °C, ger ett virke som kan ersätta tryckimpregnerat trä. Tekniken att värmebehandla trä kan vara intressant, dock är samlokalisering med kraftvärme eller fjärrvärme inte någon avgörande eller ens betydande faktor. Den inledande virkestorkningen, som sker med allt sågat virke, har betydligt mer att tjäna på en samlokalisering, vilket trots det är mycket ovanligt idag.

6.4 Vattenreningsteknik

Design och funktion av provtagningssystem för vatten och ånga vid energianläggningar är en mycket viktig del i övervakningen av anläggningen. En felaktig installation kan medföra att erhållna analysvärden inte återspeglar de verkliga förhållandena i vattenångcykeln. De senaste riktlinjerna för provtagning på vatten och ånga samt rekommendationer anpassade till den utrustning som finns i en svensk energianläggning på 2000-talet finns sammanställda.

Installation av en reningsanläggning för rökgaskondensat är ofta något så ovanligt som en ekonomiskt lönsam miljöinvestering. Tekniken att rena rökgaskondensat med membranteknik och återvinna både vatten och energi fungerar bra. Det gäller dock att projektansvariga på anläggningen engagerar sig och sätter sig in i tekniken för att undvika igångkörningsproblem.

En mycket bra sammanställning av kunskapsläget och en omfattande studie om erfarenheter från svenska och danska avfallsförbränningsanläggningar avseende processutformning och reningsteknik av ämnen som faller under EU:s vattendirektiv med fokus på avfallsförbränning men behandlar också biobränslen har tagits fram. Det finns möjlighet att välja mellan ett antal olika tekniker för rening av avloppsvatten från rökgasrening- och kondenseringssteg vid avfallsförbränningsanläggningar. Årskostnaderna för olika reningskoncept redovisas.

Ett alternativ till att använda ytvatten för produktion av avsaltat vatten kan vara att använda saltvatten från Östersjön. Med modern membranteknik är det lättare att avlägsna salter än organiskt material ur vatten. Det innebär att det borde vara bättre att utgå från en råvattenkälla med så låg halt organiskt material som möjligt. Mängden salt i råvattnet har mindre betydelse. Därmed borde Östersjövatten vara en bättre råvattenkälla än vatten från sjöar, floder eller annat humusrikt ytvatten. Det finns flera större anläggningar utomlands där avsaltat spädvatten produceras utifrån saltvatten men det har inte tidigare prövats i Sverige. Val av rätt utrustning för förbehandling av råvattnet är en mycket viktig del vid projektering av en ny avsaltningsanläggning baserad på membranteknik. En utvärdering av olika teknikval för förbehandling av råvattnet har genomförts.

6.5 Drift- och underhåll

Det är naturligt att ett tillämpat forskningsprogram fokuserar till att sänka drift - och underhållskostnader i befintliga anläggningar. Vid kraftvärmeverk som eldar biobränslen och avfall begränsas ofta elutbytet av ångtemperaturen som i sin tur begränsas av att överhettarna blir hårt ansatta av alkaliklorider vid höga materialtemperaturer. Alkalikloriderna kan ge upphov till såväl korrosionsangrepp som kraftig beläggning. Problemen ökar generellt med både temperatur och koncentration av alkaliklorider.

Erfarenheter från förbränningsanläggningar visar att bränsle- och askhanteringssystem generellt sett är mycket slitageutsatta. Förekomsten av slitage beror dels av vilken typ av transportsystem som används och dels av typ och kvalitet på bränslet. Även utformningen av kritiska komponenter hos varje transportör och materialval inverkar. En enkel åtgärd som identifierats har varit att omkonstruera utrustning så att slitageutsatta delar, såsom lager, plåtar, bottenar, trumytor, skenor och skruvgångor, lätt kan bytas och därmed inte längre ger upphov till långa driftstopp och höga underhållskostnader.

Den förändrade bränsleanvändningen i svenska kraft- och värmeverk har inneburit att mängden påslag och beläggningar har ökat i pannan. Detta har medfört ett ökat behov av sotning. Felaktig utförd sotning kan medföra negativa och skadliga effekter på pannan, t.ex. erosion som kan orsaka tubläckage. Att utveckla metoder för effektivare sotning som innebär att sota precis så mycket som är nödvändigt för att pannan skall hållas ren är svårt, men nödvändigt. I ett projekt som genomförts inom programmet har försök gjorts att utvärdera om tubens mekaniska egenskaper kan användas för att detektera påslag på överhettartuber.

I kraft- och värmeanläggningar är underhållsarbete traditionellt baserat på avhjälpande underhåll, antingen planerat (tidsstyrt), eller oplanerat (akut). På senare tid har många anläggningar ändrat underhållsstrategier för att övergå till förebyggande underhåll. Detta kan omfatta periodiska modifieringar/reparationer eller på mätresultat s.k. tillståndsbaserad styrning. Behovsstyrt underhåll baseras på ett system som ska varna för fel som behöver åtgärdas direkt och samtidigt ge information om när det är dags att sätta in underhållsåtgärder. I programmet har en datamodell testats där diagnostiken av processer och sensorer jämförs med uppmätta processdata. Simuleringar jämfördes med on-line data, för att få indikation på sannolikheten för olika typer av fel.

Under senare år har mer frekventa starter och stopp blivit aktuella för allt fler kraftvärmeanläggningar som en följd av att svängningar i elpriset blivit vanliga. Det innebär att frekvensen av skador, inte minst utmattningsrelaterade skador, kommer att öka samt att allvarliga haverier kan uppstå i komponenter som tidigare inte haft några skadeproblem. I en utredning gjord i programperioden visar erfarenheterna på att töjningsinducerad korrosionssprickning (SICC) är ett stort problem i ångdomar och i ångackumulatörer. Det är i regel fråga om långsamt växande sprickor som är förknippade med starter och stopp av anläggningen. Vid cyklisk drift kan det därför befaras att denna sprickmekanism orsakar kritiska skador efter betydligt kortare drifttider än vad som är typiskt idag.

Med långa drifttider ökar förutsättningar för defekter och sprickor i högtemperaturkomponenter i kraftvärmeverken, där krypskador och krypsprickor är vanligt förekommande. Då sprickor eller defekter upptäcks kan den nödvändiga eller den lämpligaste åtgärden vara en reparationssvetsning. Krypbeteendet hos reparationssvetsar med CrMo och Mo-stål har studerats experimentellt och genom finita element simuleringar av svetsreparerade rundsvetsar. I projektet har data för krypning tagits fram, ett underlag som behövs för att kunna göra adekvata beräkningar av kryplivslängden i materialets värmepåverkade zon, HAZ. Med dessa krypdata möjliggörs simulering av beteendet hos riktiga svetsar.

För att kunna upprätta inspektionsstrategier och intervall för återkommande inspektioner för svetsade komponenter behövs kunskap om materialens prestanda efter långa drifttider. Ingående granskning av utbytta komponenter från ångledningars tillverkade av X20, som varit i drift mellan 70.000 och 150.000 timmar, visade att krypskador kan förväntas tillväxa på samma sätt som för låglegerade stål. Denna slutsats var ny jämfört med tidigare antaganden.

Svensk skogsindustri har en gemensam ambition att förlänga driftintervallet mellan större besiktning- och underhållsstopp till två år för de anläggningar där så är möjligt. En utredning har genomförts som innebär att ta fram en metodik för uppfyllande av myndighetskrav. Samma metodik kan användas för att utreda krav på igensättning och driftproblem som inte är säkerhetsrelaterade. Genom systematisk riskanalys har driftfönster tagits fram som anläggningen måste hålla sig inom och provtagning utföras i syfte att hålla skadebildningen på en acceptabel nivå. Slutresultatet är en guideline för det praktiska genomförandet.

Krypskador i ett T-stycke för ångledningars har kartlagts. Bakgrunden är att oväntade haverier och sprickbildning har på senare tid inträffat i ångledningars genom krypning fastän drifttemperaturen har varit signifikant under gränstemperaturen. Karaktärisering av sådan skadebildning, kartläggning av förekomsten hos svenska anläggningar och ökad kunskap om förutsättningarna för fenomenet har erhållits i tidigare Värmeforskningsprojekt (Värmeforskningsrapporterna 978 och 1032). I dessa projekt har även rekommendationer för hur dessa ångsystem bör hanteras med avseende på drift, underhåll, besiktning, provning samt bedömning av skador och dess koppling till återkommande provning.

Kemisk rengöring av pannor är nödvändig för att tvätta bort beläggningar i vatten- och ångsystem, främst i delarna med hög värmebelastning. I dessa system finns risk att beläggningarna så småningom leder till skador på tuberna på grund av invändig och utvändig korrosion samt överhettning av tubmaterialet. I programmet har ett bedömningsunderlag tagits fram, som skall ge vägledning och riktlinjer till anläggningsägare när en kemisk rengöring är lämplig.

Förlängd livslängd i gasturbinkomponenter som eldas med biobaserade bränslen innebär förbättring av lönsamheten/klimatet! Livslängden hos fem nickelbaserade superlegeringar har genomförts för att simulera förhållandena i en gastrubin som drivs med bränsle som innehåller 3wt% H₂S. Resultaten som uppnåtts inom projektet visar att trots att provmiljöerna som valts innebär jämförelsevis hög halt av H₂S och en alkalisulfatbelastning som vida överstiger vad som kan förväntas i en gasturbin med

moderna inloppsfilter så uppstår inga korrosionsangrepp som förefaller relaterade till förekomsten av svavel eller alkalisulfat i gasfas.

Polypropenmaterial (PP) är attraktivt att använda i metallkorrosiva miljöer eftersom det är jämförelsevis mycket billigt och korrosionshårdigheten god. Ett övergripande problem eller svårighet med PP-material är att de, liksom plaster i övrigt, inte är standardiserade, och därför kan olika fabrikat och kvaliteter skilja sig väsentligt. I programmet har därför en metodik utarbetats för att kvalitetssäkra PP-material för en viss önskad livslängd, och för att kunna bedöma status och kvarvarande livslängd hos PP-material i anläggningar, speciellt för rening och kondensering av rökgaser. Kunskapen om hur driftförhållanden påverkar polymera material upplevs generellt som bristfällig. Därför har en lättillgänglig handbok tagits fram som syftar till att underlätta och optimera förebyggande underhåll samt för bedömning av kritiska skador i typiska polymera material som glasfiberarmerad esterplast (GAP), glasflakefyllda beläggningar, PP och fluorplaster.

6.6 Produktionsplanering och optimering

I takt med att både komplexitet och krav på lönsamhet växer i processindustrins anläggningar ökar kraven på att i ett tidigt skede kunna upptäcka, fatta beslut om och åtgärda avvikelser i processen. Detta är viktigt för att snabbt kunna återgå till normalt driftläge och därmed åstadkomma hög drifttillgänglighet.

Med IFT, Iterative Feedback Tuning, är det möjligt att effektivisera regleringen samt få bättre resultat än med manuellt vältrimmade regulatorer inom kraftvärmeindustrin. Därmed kan både energi och tid sparas under processens gång. Sparas energi så sparas emissioner och i slutändan sparas klimat och frisk luft. Återbetalningstiden för en IFT-trimning av en överhettarreglering är mindre än ett år.

Genom optimering av framledningstemperaturen kan elproduktionen från kraftvärmeverk som eldar förnybar energi ökas med 2-3%, framför allt när elbehovet är stort vintertid. I en studie har en modellbaserad reglerstrategi testats som innebar en sänkning av framledningstemperaturen med 4 °C i genomsnitt under höglast. Resultaten visade att framledningstemperaturen kunde sänkas utan att leveranssäkerheten äventyrades.

Väderprognos är en väsentlig parameter för att kunna beräkna värmelasten. Att producera värme och el ställer stora krav på planering med hänsyn till kundernas varierande behov av värme samt anpassning av produktionen till väderlek. I ett projekt har undersökts hur osäkerheten i väderprognoser slår igenom i lastprognoser och därigenom påvisa hur kvantifierbara osäkerheter i vädret påverkar beslutsunderlaget för produktion av värme och el.

Inom programmet har ett kiselkarbidbaserat multisensorsystem utvecklats för att styra SCR och SNCR i rökgaser. Multisensorsystem mäter ammoniak i rökgaser på multipla punkter för kontroll av SNCR och SCR. Systemet är tillräckligt billigt för att placera sensorer i många punkter över en stor rökgaskanal och därmed effektivare styra till exempel SCR. Med feed-back till ureainsprutningen kan användningen och även NO_x utsläppen

minska. Systemet har inte testats tillräckligt i fälttester men resultaten från projektet är så lovande att dessa tester fortsätter.

EU:s direktiv om förbränning av avfall kräver bl.a. att man ska visa att rökgaserna från förbränning av avfall uppehåller sig minst 2 sek över 850 °C. För att kunna styra och reglera panntemperaturen har en modellbaserad prediktiv reglering (MPC) testats. Resultaten visar att MPC fungerar bra med flervariabel styrning av panntemperaturen. I projektet redovisas hur regleringen kan anpassas för att hålla nere antalet signaler och därmed komplexiteten.

För att stödja driftoperatörernas beslutsfattande, och därmed effektivisera övervakning och styrning av processer, krävs användaranpassade skärmbildpresentationer utformade efter människans kognitiva förutsättningar att bearbeta visuell information i olika driftsituationer. I programmet har projekt genomförts som har utvecklat och utvärderat innovativa skärmbilder för styrning och övervakning av värmekraftverk och massa- och pappersbruk.

IR-teknik har stor potential för optimering av förbränningsanläggningar med hjälp av ett enkelt och kostnadseffektivt mätsystem som kan användas av alla pannor där pulveriserad biomassa används som bränsle. I ett projekt som genomförts har man testat att optimera förbränningen vid brännarna genom att byta ut flamvakterna mot Infraröd (IR) sensorer. Resultaten visade att den modifierade och förenklade IR-sensorn kunde mäta flammans IR-emission under lång tid utan mekaniskt fel. IR-sensorn visade också god korrelation mot det beräknade massaflödet.

Drifterfarenheter från flera års drift av barkpannor som konverterats till BFB – teknik (Bubblande Fluid Bädd) vid massabruk i Sverige visar att de snabba ändringar i last som är ett ofta förekommande fenomen inom skogsindustrin medför svårigheter att hålla emissioner såsom CO och NO_x på en låg nivå.

Svensk skogsindustri har en gemensam ambition att förlänga driftintervallet mellan större besiktning- och underhållsstopp till två år för de anläggningar där så är möjligt. En utökning av besiktningintervallet för pannan till 2 år medför ett ökat risktagande. Därför krävs åtgärder för att minska risknivån. Förlängda driftintervall med bibehållen säkerhet och tillgänglighet leder till minskade produktionskostnader. En metodik har tagits fram för att genomföra detta så att myndighetsvillkoren för förlängt besiktningintervall till 2 år uppfylls. Slutresultatet är en guideline för det praktiska genomförandet.

Rörkonstruktörer har olika syn på hur viktigt det är att uppfylla den rekommendation som behandlar rörupphängningarnas lastvariation. För att skapa riktlinjer för rörkonstruktörer som är så tydliga att de kan fokusera på annat är hur stor lastvariation som skall tillåtas har olika lastfall studerats med målet att få mer ekonomiska rörsystem med lägre drift- och underhållskostnader.

7 Slutsatser från basprogrammet 2008-2011

Värmeforsks basprogram har alltsedan 1968 haft som mål att utveckla energianläggningar som producerar el och värme från olika bränslen. Forskningsinsatserna täcker alla delar i *hela* produktionskedjan från bränsleleverans, omvandling, till emissioner, askhantering och fjärrvärmeleverans. Under senare år har programmet haft fokus på *resurshushållning* och *energieffektivisering*, vilket delvis hänger samman med ökat medvetande om klimatfrågor tillsammans med nationella och internationella klimatmål. Detta har framförallt varit kopplat till EU:s förslag till ny energipolitik, som under programperioden också blivit svensk lag.

Basprogrammets breda ansats gör att forskningsinsatserna spontant kan kännas något spretiga, men om man ser till helheten, kan man finna en röd tråd. Varje projekt som har genomförts leder till kunskapsuppbyggnad i någondera delen i energiförsörjningen. En del av forskningen är direkt problemlösande och vänder sig till anläggningarnas driftpersonal. Den framåtriktade forskningen ligger till grund för företagsledningens strategier och som underlag för lämpliga investeringar. För samhället i stort utgör forskningsinsatserna ett sätt att stärka svensk industris konkurrenskraft, att tillse branschens kompetensförsörjning, och sist men inte minst att möjliggöra implementering av politiska beslut.

Utvärdering av måloppfyllelsen av Basprogrammet 2008-2011 visar att verksamheten i hög grad bidragit till att förbättra lönsamheten i kraft- och värmeproduktionsanläggningarna samt bidragit till att öka kunskapen hos branschens aktörer. I utvärderingen konstateras att Värmeforsks basprogram ”gör skillnad” i några för samhället viktiga angelägenheter:

- Klimatfrågan
- Kraftvärme baserad på biobränslen
- Skogsindustrins energiförsörjning
- Länk mellan universiteten och industrin
- Som genomförare av samhällets krav på branschen
- Kunskapspridare inom branschen

Basprogrammets länk mellan universiteten och industrin består av ett hundratal industrianställda och ett tiotal universitetsforskare. Deltagande industrirepresentanter i basprogrammet har inte sällan avlagt forskarexamina, vilket pekar på att kompetensnivån i branschen har höjts!

Kraftvärme och decentraliserad elproduktion är av största vikt med hänsyn till att bränslet förekommer lokalt. Skogsindustrin är vår basnäring och energiförsörjning av denna är synnerligen kritisk för skogsindustrins lönsamhet. Svensk skogsindustri har sedan lång tid tillbaka varit internationellt ledande inom området processindustri/energikombinat. Värmeforsks basprogram har på ett effektivt sätt bidragit till att upprätthålla denna position.

Utvärderingen konstaterar också att myndigheterna som utfärdar styrmedel i form av skatter, lagar, utsläppsrätter, gränsvärden, etc. för omställning av det svenska energisystemet får stor hjälp av Värmeforsks Basprogram för att omsätta styrsignalerna till pratiska resultat. d.v.s. Basprogrammet bidrar till att genomföra samhällets krav på energibranschen. [Värmeforskrapport 1241]

7.1 Anläggningstekniska aspekter

Under senare år har de ekonomiska förutsättningarna för investering i kraftvärmeverk förändrats. Idag finns det nya material som möjliggör högre ångdata med bibehållen tillgänglighet. Även de ekonomiska förutsättningarna med höjda el-, värme- och bränslepriser jämte införande av elcertifikat och intresset för breddning av bränslebasen har förändrat situationen.

Forskning om avancerade ångdata applicerade på biobränsleeldade kraftvärmeverk har främst fokus mot tekniska frågeställningar avseende materialval och korrosionsmekanismer. Mer komplicerat är att studera ett helhetsperspektiv på kraftvärmeanläggningar. Risken för korrosion ökar när ångtemperaturen höjs. Ökningstakten avseende korrosion varierar beroende på bränslen och material. Kostnaden för temperaturlågt material ökar kraftigt med ångtemperaturen. Strävan efter den optimala anläggningen kan inte alltid mötas med höga ångtryck och annan processutformning. Val av korrosionsbeständiga material är en åtgärd, men även konstruktion av pannan och optimal placering av de mest korrosionsutsatta delarna är viktiga åtgärder.

Små kraftvärmeanläggningar

Värmeeffekter på 2 – 10 MW betyder att kraftvärmeverken kan ge eleffekter på ca 1 – 5 MW beroende på vald teknik. I det övre intervallet finns ångturbiner. Kraftvärmeverk baserade på Gasturbiner finns på marknaden i hela intervallet – men de måste anpassas till biobränsle. Organiska Rankinecykler (ORC) är en nygamal teknik som håller på att bli lönsam speciellt för svåra biobaserade bränslen i hela intervallet. Bland ytterligare tekniker kan nämnas stirlingmotorer och kolvångmaskiner, även här måste tekniken anpassas till biobaserade bränslen och lönsamheten förbättras. Elcertifikaten har en avgörande betydelse för lönsamheten av småskalig kraftvärmeproduktion.

Kraftvärmeanläggningar med värmeeffekt 2 – 10 MW under svenska förhållanden visar att samtliga typer av anläggningar kan ge lägre elproduktionskostnad än kolkondenskraftverk, gaskombikraftverk och kärnkraftverk, om de fasta kostnaderna för den värmeanläggning som ersätts och elcertifikat motsvarande 250 – 300 SEK/MWh(e) kan tillgodoräknas, samt om livslängden för anläggningarna kan förväntas bli upp mot 25 år.

7.2 Bränslen

Bränsle är en central fråga i Värmeforsk. Basprogrammet har bidragit med nya kunskaper för att möjliggöra en ökad användning av billiga bränslen med egenskaper som avviker från de som vanligen används inom industrin. Sameldning, additiv, förändrad bäddtemperatur är exempel på områden som studerats för en effektiv användning av nya bränslen. Under programperioden har det varit fokus på konsekvenser för branschen av förändrade förutsättningar i fråga om bränsletillgång och bränslepriser, konkurrens om bränsleråvaror och behov av ökad inhemsk biobaserad elproduktion. Vi har genom kunskaper från Basprogrammet tagit ett långt steg framåt när det gäller att kunna utnyttja bränslen med höga askhalter och betydande innehåll av klor och alkali, exempelvis halm, utan driftstörningar.

I programmet har tagits ett större grepp för att överblicka och reda ut hur bränsle, beläggning, korrosion och bäddagglomerering hänger samman med val av konstruktionsmaterial och ångtemperaturer. Här redovisas hur smarta val av bränsleblandningar tillsammans med tillsats av additiv, alternativt val av materialtemperatur kan minska de alkalirelaterade driftproblemen.

Basprogrammet 2008-2011 har identifierat och rekommenderar lämpliga material för ångdata kopplat till olika bränslen. I genomförda projekt ges rekommendationer för material till värmeöverförande delar i pannan för att uppnå en säker drift vid förhöjda ångdata upp till 600 °C. Identifierade material finns i allmänhet på marknaden men materialen är ofta dyra och kräver en annan processutformning för att ge högre elverkningsgrad och lönsam drift.

7.3 Material och korrosion

Risken för korrosion i anläggningar ökar när ångtemperaturen höjs. Ökningstakten avseende korrosion varierar beroende på bränslen och material. Kostnaden för temperaturlågt material ökar kraftigt med ångtemperaturen varför den optimala anläggningen inte alltid utformas för högsta ångdata utan ibland med både andra ångtryck och annan processutformning. I programmet har utredningar pekat på att val av korrosionsbeständiga material är en åtgärd för minskad korrosion, men även konstruktion av pannan och optimal placering av de mest korrosionsutsatta delarna är viktiga åtgärder.

Basprogrammet har i hög grad bidragit till att Sverige intagit en internationellt ledande position inom området biobaserade kraftvärmeverk med höga ångdata. Verksamheten inom detta område har rapporterats vid flera internationella konferenser.

Att kunna mäta korrosionshastighet on-line har fått allt högre prioritet i takt med att sämre bränslen introduceras. I basprogrammet har olika tekniker för mätning av korrosionshastighet utvärderats. För mätning av allmänkorrosion har metoder för linjär polarisationsresistans analyserats och för gropfrätning har bedömning gjorts av *electrochemical noise*. En helt ny metod för on-line mätning av rökgaskorrosion av panntuber och överhettartuber har identifierats. Metoden är baserad på en elektromagnetisk akustisk transducer där man kan arbeta i lång tid vid temperaturer upp till 600°C.

7.4 Drift- och underhåll

Forskning som leder till ökad produktion och minskade driftkostnader är en central uppgift i Värmeforsks forskningsprogram. Hit hör minskning av bränslekostnader genom optimal drift, eller undvika stopp i anläggningen. En annan typ av driftkostnad är utsläpp som kostar pengar, t.ex. emissioner och aska. Personalkostnader, som också är driftkostnader kan påverkas t.ex. genom ökning av automatiseringsgraden.

Underhållskostnaderna kan t.ex. påverkas genom; förebyggande underhåll, undvikande av beläggningar på värmeöverförande ytor, undvikande av sintring och bäddagglomerering, leveranskontroll av bränsle, utveckling av mätmetoder för kontroll/övervakning av processen, utveckling av metoder för att korta ner stillestånd för revision, etc.

Förnybara bränslen påverkar även slitaget på hanteringssystem i en anläggning. Exempel på förekommande slitageproblem är förslitning av skrap- och skruvtransportörer, revor eller spikhål i bandtransportörer och avbrott i kedjedrifter.

Sotning är en annan form av slitage som fortfarande är en stor anledning till driftstopp. I programmet har försök gjorts för att detektera påslag på överhettartuber. Syftet med att detektera påslag är att sota precis så mycket som är nödvändigt för att pannan skall hållas ren. Att sota för mycket innebär ett stort slitage på de tuber som sotas och att sota för lite innebär minskad prestanda för pannan.

Underhållskostnaderna för slitageskador är oftast väsentliga. Det är också i allmänhet så att kostnaderna ökar med sjunkande bränslekvalitet, vilket gör att vinsten med en lägre bränslekvalitet därmed inte blir så stor som annars skulle ha varit fallet.

7.5 Emissioner

Kontroll av emissioner till luft och vatten har varit ett viktigt område inom Värmeforsks program genom alla år. Nya bränslen innebär nya utmaningar och därmed en del svårigheter med att klara befintliga och kommande utsläppskrav. Programmet har bidragit till att bland annat visa att:

- NO_x och ammoniakslip kan kontrolleras med hjälp av ett multisensorsystem.
- Partiklar i rökgaserna kan reduceras med mer än 97% med hjälp av ett skrubberintegrerat vått elektrofilter och samtidigt minska energiförbrukningen.
- Med membranteknik kan både vatten och energi återvinnas ur rökgaskondensat.

7.6 Energikombinat

Energikombinat är en systemlösning som producerar el, värme/ånga samt ytterligare minst en nyttig produkt t.ex. ett bränsle eller något material. En optimal lokalisering av ett bioenergikombinat innebär en placering ”mitt i råvaran”, dvs. med mycket god tillgång på råvara lokalt, nära en storstad (>100 000) som har ett stort fjärrvärmebehov året om, nära hamn och järnvägsanslutning för att möjliggöra kostnadseffektiva transporter av råvaror och produkter. Förtorkning av biobränsle kan ge en betydande förhöjning av

elutbytet vid en kraftvärmeanläggning och även framställning av biodrivmedel är högtintressant.

7.7 Processtyrning

I takt med att både komplexitet och krav på lönsamhet växer i processindustrins anläggningar ökar kraven på att i ett tidigt skede kunna upptäcka och fatta beslut om och åtgärda avvikelser i processen. Detta är viktigt för att snabbt kunna återgå till normalt driftläge och därmed åstadkomma hög drifttillgänglighet.

Produktionsoptimering är ett angeläget område i Värmeforsks program för Processtyrning. Området innebär exempelvis att prognostisera fjärrvärmebehovet, vid en given lastprognos, eller att studera hur osäkerheter i väderprognoser slår igenom i lastprognoser.

Ett annat forskningsområde är människa-maskin-interaktion (MMI). Forskning inom området har lett till utveckling av system som kan förenkla för operatörerna i arbetet med effektivare styrning. Med IFT, Iterative Feedback Tuning, är det möjligt att effektivisera regleringen samt få bättre resultat än med manuellt vältrimmade regulatorer inom kraftvärmeindustrin. Modellbaserad prediktiv reglering (MPC) för koordinerad reglering av övergripande reglerkretsar har utmärkt prestanda.

7.8 Handböcker, guidelines och rekommendationer

Inom programperioden har ett flertal handböcker, guidelines och rekommendationer sammanställts för att förbättra och förenkla verksamheten i både övergripande planering och i olika driftsituationer.

Miljöfaktaboken 2011 redovisar emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Rapporten ger förståelse för miljöbelastningar - ur ett livscykelperspektiv avseende alla typer av bränslen. En unik kunskapskälla för miljöhus hållning.

Bränslehandboken 2012 erbjuder en metod för att ur anläggningsägarens perspektiv bedöma olika bränslen på marknaden.

Handbok – Statusbedömning av polymera material i rökgassystem är riktad till anläggningsägare och underhållspersonal som hjälp för att kunna upptäcka skador och bedöma åtgärder.

Provtagningsystem för vatten och ånga är en sammanställning av de senaste riktlinjerna för provtagning på vatten och ånga.

Förlängda driftperioder mellan underhållsstopp är en guideline för det praktiska genomförandet som har tagits fram så att myndighetsvillkoren för förlängt besiktningsintervall inom svensk skogsindustri till 2 år uppfylls.

Förebyggande underhåll och livslängdsbedömning med avseende på cyklisk drift
innehåller procedur för förebyggande underhåll och livslängdanalys med avseende på cyklisk drift.

Bedömningsunderlag för när kemisk rengöring är lämpligt för pannor

Rapporten redovisar ett bedömningsunderlag för anläggningsägare för vad som skall beaktas för en bedömning av när det är lämpligt att kemiskt rengöra en panna.

8 Litteraturreferenser

- [1] Rönquist E-M, Överhettarkorrosion i bioeldad panna, Värmeforskrapport 708, 2000
- [2] Stålenheim A, Henderson P, Korrosion i avfallsförbränningsanläggningar, Värmeforskrapport 887, 2004
- [3] Davidsson K, Eskilsson D, Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kassman H, Steenari B-M, Åmand L-E, Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, Värmeforskrapport 997, 2006
- [4] Aurell J, Kling Å, Marklund S, Myringer Å, Minskad dioxinbildning med hjälp av additiv vid sameldning av skogsbränsle och returbränsle Värmeforskrapport 928, 2005
- [5] Gyllenhammar M et al. Ramprogram - Åtgärder för samtidig minimering alkalirelaterade driftsproblem, Etapp 2, Värmeforsk 1037, 2007.
- [6] van Lith, S.C., Alonso-Ramirez, V., Jensen, P.A., Frandsen, F.J., and Glarborg, P. Release to the gas phase of inorganic elements during wood combustion Development and evaluation of quantification methods, Energy and Fuels (2006) 964-978
- [7] Holmquist C-E, Bildning, effekter och kontroll av kväveoxider, Stiftelsen Värmeforsk, SVF-8, 1972
- [8] Nohlgren I et al. Kritiska faktorer för lönsam produktion i bioenergikombinat, Värmeforsk 1224, 2012
- [9] Dejfors, C., Lindeberg, Å., Knutås, C., Nordling, J. Värmeforskrapport 843. Syntes av Värmeforsks basprogram 1999-2003.

