

PROJEKT I SAMVERKANSPROGRAM FÖR BRÄNSLEBASERAD EL- OCH VÄRMEPRODUKTION

RAPPORT 2016:250



BRÄNSLEBASERAD EL-
OCH VÄRMEPRODUKTION



Projekt i Samverkansprogram för bränslebaserad el- och värmeproduktion

SEBRA-projekt 2013–2016

ISBN 978-91-7673-250-2 | © ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Den här rapporten är en sammanställning av alla de projekt som ingår i Energiforsk och Energimyndighetens samverkansprogram Bränslebaserad el och värmeproduktion, SEBRA samt de projekt som startade 2012 och 2013 innan samverkansprogrammet kom igång.

SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion, är efterföljaren till Värmeforsks Basprogram och startade som ett samarbetsprogram mellan Värmeforsk och Energimyndigheten 2013. All forskningsverksamhet som bedrevs inom Värmeforsk ingår sedan den 1 januari 2015 i Energiforsk.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav. Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik.

Denna sammanställning togs fram i samband med den programkonferens som hölls i Stockholm den 15-16 juni 2016. Varje projekt presenteras här med en sammanfattning som även ingår i slutrapporten från projektet.

Rapporter som blev färdiga före 2015 är utgivna som värmeforskrapporter. Rapporter färdigställda efter 1 januari 2015 är energiforskrapporter. Samtliga återfinns i Energiforsks Rapportsök. www.energiforsk.se/rapportsok.

Projektutförarna och författarna av rapporterna kommer från energiföretag, konsultfirmor, forskningsinstitut och akademi. Varje projekt har följts av en referensgrupp. Vidare har resultaten granskats av forskningsgruppen med bred och djup kompetens. Allt detta borgar för att resultaten som levereras från programmet håller hög kvalitet.

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Innehåll

1	Emissionsmäthandbok 2015	9
2	On-line övervakningsteknik för fluidiserade sandbädd i BFB pannor	10
3	Integrerad metod för luftkvalitetsmätningar vid värme och kraftvärmeanläggningar	12
4	Provelddning av pyrolysolja för kraftvärmeproduktion	14
5	Färdig bränslemix av halm, flis och additiv från terminal till kraftvärmeverk	15
6	Advanced Temperature Measurements on/in/beneath TBC coatings	17
7	Improved combustion in fluidized bed with manganese ore as bed material	19
8	Snabb fukthaltsmätning av trädbränsle med radar teknik	21
9	Salix som bränsle från kadmiumbelastad åkermark	23
10	Termisk sprutning med HVAF (High Velocity Air Fuel) för korrosions- och erosionsskydd av pannor	25
11	Handbok för inspektion av glasfiberarmerad plast	26
12	Handbok för livslängdsarbete med energianläggningar	27
13	Tungmetalljonbytare för rening av rökgaskondensat	30
14	Konsekvenser av cyklisk drift - SICC	32
15	Development of testing method for the evaluation of cyclic operation	34
16	Minskning av ammoniumhalt i rökgaskondensat	35
17	Reparation av skyddande ytskikt som har skadats under drift	37
18	Safe and more reliable use of PP-materials in flue-gas cleaning	39
19	Begränsad eldstadskorrosion genom reglerad blyhalt	42
20	Förbättrad livslängdsprediktering genom TMF-provning i korrosiv miljö	43
21	Korrosion och beläggingsbildning vid förbränning av bränslet SLF	45
22	Online-analys av heta påslag vid förbränning	47
23	Gjuterisand i fluidiserade bäddpannor	48
24	Effect of stress relaxation on creep of steam pipe systems	49
25	Korrosionsreducerande additivs inverkan på syradaggpunkten och lågtemperaturkorrosion	50
26	Lifetime assessment of high temperature piping	52
27	Undersökning av möjligheter för svenska kraftvärmeverk att leverera primär frekvensreglering, FCR-N	54
28	Tyst kunskap och kompetens - Utveckling av metod för att överföra erfarenheter från processtyrning	56
29	Beslutsstöd för produktionsplanering av fjärrvärme med hjälp av olinjär programmering	58

30	Säkerhet och kvalitet i automationsprojekt	59
31	Primära fel i larmskurar	61
32	Improved superheater control with feedforward from physics-based process models	66
33	Drifterfarenheter från förgasningsanläggningar av biobränslen för kraftvärmeproduktion och industriella tillämpningar	68
34	Effektiv transport av bioenergi för kraftvärmeproduktion	72
35	Biokol från bioslam - Pilotförsök	74
36	Technical and economic potential for combined heat, power and bio-oil production in power plants-CHPO	76
37	Koncept för att minimera bildning av fint stoft och kväveoxider	78
38	Drifterfarenheter från små förbränningsanläggningar	80
39	Förutsättningar och förslag till branschgemensamma specifikationer av flytande biobränslen för förbränning i stationära anläggningar	82
40	Aerosolkatalysatorer för industriell gasrening	84
41	Sotningsmetoder för pannor som använder besvärliga bränslen	86
42	Homogenisering och segregering av mixade biobränslen	88
43	Rökgassidig stilleståndskorrosion	90
44	Livslängd och integritet hos svetsar under kryp	92
45	Dimensioneringskriterier för anläggningsdelar utsatta för krypning	93
46	Handbok i Vattenkemi för energianläggningar	95
47	Korrosionskontroll genom analys av flygaska och avlagringar	96
48	Robustare skorstenar och rökgaskanaler i GAP	97
49	Olinjär och dynamisk optimering för kortsiktig produktionsplanering	99
50	Integrering av termokemiska tillverkningsprocesser med kraftvärmeproduktion	100
51	Status och erfarenheter från befintliga och planerade bioenergikombinat 2013	102

1 Emissionsmätthandbok 2015

FÖRFATTARE Lennart Gustavsson
Magnus Andreas Holmgren

RAPPORT 2015:142

ISBN 978-91-7673-142-0

Denna rapport är slutrapportering av projekt A 37789 Emissionsmätningar i förbränningsanläggningar (Energimyndighetens projektnummer P 37786-1), som faller under teknikområde anläggnings- och förbränningsteknik inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Projektets huvudsyfte har varit att uppdatera Värmeforsks Mätthandbok, som är ett etablerat och väl använt referensverk inom kraftvärmevärlden. Korrekta mätningar bidrar till bättre resursutnyttjande och låga emissioner.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Håkan Kassman (Vattenfall) och Henrik Lindståhl (Tekniska verken i Linköping).

SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion, är efterföljaren till Värmeforsks Basprogram och startade som ett samarbetsprogram mellan Värmeforsk och Energimyndigheten 2013. All forskningsverksamhet som bedrevs inom Värmeforsk ingår sedan den 1 januari 2015 i Energiforsk. Därför ges denna rapport ut som en Energiforskrapport.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav. Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik.

2 On-line övervakningsteknik för fluidiserade sandbädd i BFB pannor

FÖRFATTARE Shahriar Badiel
RAPPORT 2015:188
ISBN 978-91-7673-188-8

Fluidisering av bäddsand är en central del av förbränningsprocessen i pannor med en bubblande fluidiserad bädd (BFB). En fluidiserad bädd bygger på principen att sandpartiklar sätts i rörelse med hjälp av en luftström som blåses underifrån via luftdysor genom bädden. Detta leder till en kraftig omblandning av det inmatade bränslet. Bädden består därmed i huvudsak av sand, bränslepartiklar, och aska under förbränningen. Om temperaturen sjunker under 800°C ökar utsläppen av bl.a. oförbrända kolväten, om däremot bäddtemperaturen stiger kraftigt kan bädden sintra ihop. Det finns ett behov att veta både bäddhöjden och dess fluidiseringsstatus för att kunna få en jämn förbränning.

En radarbaserad nivåmätningsteknik har utvärderats i detta projekt för att kunna mäta fluidiseringshöjden och fluidiseringsstatusen i BFB-pannor. Syftet var att tidigt kunna upptäcka försämringstendenser i fluidiseringen genom att kontinuerligt mäta fluidiseringshöjden och hur höjden varierar över tiden i vissa specifika områden (zoner). Detta är en nyutveckling för mätning av fluidisering av sandbädden i BFB pannor.

Laboratorieförsök har utförts med två nivåmätare, SITRANS LR560 och Micropilot FMR57. Dessa är två kommersiella sensorer för nivåmätning baserade på mikrovågsradarteknik. Resultaten från laboratorieförsöken visade att ca 0,1 g/cm² sand räckte för att sensorerna skulle kunna visa en pålitlig signal för att kunna följa sandbäddytan. Laboratorieförsöken visade att SITRANS LR560 mätastighet var ca 1 Hz vilket var långsammare än den för Micropilot FMR5, men dess form och storlek gjorde att SITRANS LR560 valdes för mätningar i fält.

Laboratorieförsöken följdes av fältförsök utförda i panna P7 i Jordbro kraftvärmeverk under perioden 25:e augusti - 25:e oktober 2015. Enda möjliga placeringen av sensorn var nära en av de två bränsleinmatningslinjerna varför bränsleinmatningen störde mätningarna på sandbädden.

Mätresultaten har analyserats och jämförts med processdata för tiden innan fastbränsleinmatningen kommit igång och för de kortare perioder som bränsleinmatningen inte störde mätningarna. Resultaten visade att under dessa perioder kunde rörelserna och höjdnivån av sandbädden mätas. Data från sensorn jämfördes med data från processen så som bäddhöjd (bäddtjocklek), bäddtemperatur och fluidiseringsluftflöden. Processdatan användes som referens och för att få en uppfattning om sandbädden och panndriften.

Den längre testperioden med SITRANS LR560 kunde genomföras utan större modifiering av sensorn men med framtagning av en mätbox. Anpassningsbehovet

för att installera sensorn på en befintlig stuts var begränsad till modifiering av flänsen på stutsen.

Trots dessa hinder visades att sensorn SITRANS LR560 baserad på mikrovågsradarteknik hade god potential att kunna tillämpas för övervakning av statusen av fluidiseringen i bubblande bäddar.

Eftersom det saknas erfarenhet av den här nya mättekniken behövs fortsatt undersökning och utveckling av tekniken för att med större säkerhet och noggrannhet fastställa relationen mellan de uppmätta värdena och de fysikaliska fenomenen som sker vid defluidisering av sandbädden i förbränningsprocessen.

Utförda försök var begränsade till ett litet område av bädden vilket begränsade användningen av tekniken. En välutvecklad teknik baserad på radartekniken bör utvecklas så att den kan täcka hela bädden t ex genom skanning. Möjligheten att mäta på hela sandbädden bör ingå i den fortsatta teknikutvecklingen.

Det finns också behov av utveckling av ett användarvänligt gränssnitt för att informationen skall kunna nyttjas av driftpersonalen.

När det gäller måluppfyllelse:

För att kunna uppfylla effektmålet behövs det försök med längre mätperioder med några fall av defluidisering som efter orsaks-/sambandsanalys kan ge information om olika skeenden. Genom att vid framtida försöken fastställa relationen mellan de uppmätta värdena och de fysikaliska fenomenen som sker vid defluidisering av sandbädden, kan ändringar av bäddens fluidiseringsstatus följas. Det kan möjliggöra prognoser av defluidisering som i sin tur ska kunna leda till minskade oplanerade stopp, exempelvis genom att i ett tidigt skede öka bäddomsättningen.

Projektmålet uppfylldes till stor del då dessa har utförts:

- Laboratorieförsök har utförts med två sensorer och resultaten har karaktäriserat/kvantifierat sensorernas funktionalitet för att kunna mäta på bäddsand.
- Kvantifiering av radarteknikens lämplighet för detektering av fluidiseringsstatusen hos en BFB har utförts genom att utföra tester med två rekommenderade sensorer i VRD:s laboratorium i Älvkarleby och i Jordbro BFB-panna med en av sensorerna efter beslut.
- Fältförsök har utförts i mer än fyra veckor med en av sensorerna med förbehållet att resultatmängden med mätningar av bädden under normal drift var få. Detta på grund av att sensorn var installerad på en position som inte var optimal och fastbränsleinmatningen störde mätningarna.

Manuell justering av fluidiseringsluftflödet till luftdysorna i bädden gjordes inte eftersom pannan var under uppstartfas och gick på lägre last större delen av fältförsökperioden.

3 Integrerad metod för luftkvalitetsmätningar vid värme och kraftvärmeanläggningar

FÖRFATTARE	Åsa Astervik Shahriar Badiei Anna Helgesson Anette Hålldal
RAPPORT	2015:190
ISBN	978-91-7673-[XXX-X]

Två föreskrifter från Arbetsmiljöverket *Hygieniska gränsvärden*, AFS 2011:18 och *Kemiska Arbetsmiljörisker*, AFS 2011:19 trädde i kraft 1 juli 2012. Föreskrifterna gäller i alla verksamheter där luftföroreningar förekommer eller bildas. Luftföroreningar enligt dessa föreskrifter kan innehålla inslag av både kemiska, mikrobiologiska och andra organiska luftföroreningar som t ex trädammer. Införande av AFS 2011:18 och AFS 2011:19 har medfört högre krav på arbetsmiljö för biobränsle- och avfallseldade produktionsanläggningar. Bland annat åläggs anläggningsägarna att vara proaktiva med riskbedömning av den hygieniska effekten av damm i arbetsmiljön.

Detta projekt avsåg att kartlägga exponeringsrisker av luftföroreningar så som olika dammfraktioner, innehåll av metaller, kvarts i damm och kemikalier som är relevant för arbetsmiljön vid förbränning av biobränsle och verksamhetsavfall samt askor i värme- och kraftvärmeanläggningar under normal drift.

Resultaten från mätkampanjerna, som är redovisade i denna rapport i sin helhet, ger information om nivåer av olika luftföroreningar och källor, dvs position i anläggningen och typ av processområden, samt inverkan av bränsletyp och askkvalitet. Erfarenheten från mätkampanjerna visade att anläggningarna känner till de områden där det finns exponeringsrisk och har god kännedom om riskerna i de olika delarna av processen.

Exponeringsrisker vid hantering av bränsle och askor har utvärderats genom omfattande luftkvalitetsmätningar i fyra kraftvärmeanläggningar med flera pannor i varje anläggning med olika pann typer och bränslen. Vattenfall AB, Research and Development och Arbets- och miljömedicin i Linköping har tillsammans med respektive anläggning tagit fram försöksplaner för varje anläggning utifrån anläggningens förutsättningar och erfarenheter.

Mätningar har genomförts för

- **Personal:** personburna mätningar för bränsle-, drift-, underhålls- och saneringspersonal.
- **Hantering av bränsle:** stationära mätningar i anslutning till bränslestack (som referens), vågrum, flisning, tippning, sållning, bandgång, bränsleinmatning, och bunker.

- **Hantering av askor, sand och kalk:** stationära mätningar vid hantering av flygaska, bottenaska, slagg, sand och kalk.
- **Övriga områden:** stationära mätningar i pannhus, kontrollrum och kranhytt.

Genomförda luftkvalitetsmätningar visade generellt mycket låga halter av föroreningar vid alla fyra anläggningarna under normal drift. Av 293 uppmätta luftkvalitetsmätningar är det endast i totalt 16 fall gränsvärden överskridits, av dessa är det tio fall som nivågränsvärden enligt AFS 2011:18 överskridits och i sex fall som rekommenderat gränsvärde överskridits. De här få fallen där det observerades en förhöjd exponeringsrisk, hade områden skyltats för obligatorisk personlig skyddsutrustning och i vissa fall var områdena också belagda med ytterligare restriktioner. Resultaten visar att störst risk för exponering är i anslutning till hantering av bränslen och då främst av endotoxiner från biobränslen och avfallbränslen, inhaledbart damm samt terpenier från biobränslen. När det gäller personburna mätningar var de högsta exponeringsriskerna för saneringspersonal. Metaller, kvarts och fibrer i damm var bland de lägst uppmätta värden, då i de flesta fall halterna i proven låg nära eller under tiondelar av respektive gränsvärde.

Resultaten och erfarenheterna från mätkampanjerna användes för att ta fram en strategi och mätplan för luftkvalitetsmätningar som en del i ett systematiskt arbetsmiljöarbete för värme- och kraftvärmeanläggningar. Dessutom föreslogs några åtgärder för att minska exponeringsriskerna av luftföroreningar i arbetsmiljön.

4 Proveldning av pyrolysolja för kraftvärmeproduktion

FÖRFATTARE Emil Bjärebörn, Eva Fransson

RAPPORT 2015:191

ISBN 978-91-7673-191-8

Rapporten omfattar proveldning av pyrolysolja på Karlshamnsverket. Karlshamnsverket är ett fossiloljeeldat kondenskraftverk för topp- och reservkraft. Proveldningen bidrar till Energimyndighetens mål för ”SEBRA-Samverkansprogrammet bränslebaserad el- och värmeproduktion 2013-2015: Trygg bränsleförsörjning genom ökad driftflexibilitet och rekommendationer för ersättning av eldningsolja för spetslast med inhemska flytande bränsle”.

Pyrolysoljan skiljer sig från fossila eldningsoljor genom att den innehåller höga halter av vatten, ca 25-30%. Dessutom är värmevärdet betydligt lägre än för oljan som används idag, vilket medför en sänkt maxeffekt eller ett ökat oljeflöde. Pyrolysoljan har ett lågt pH, vilket innebär att produkten är korrosiv och bör hanteras i ett syrafast system.

Som förberedelser gjordes en riskanalys och kemikaliebedömning. Tillstånd för proveldning söktes hos tillsynsmyndigheter. Ett nytt bränslesystem byggdes. Ett provprogram togs fram och ett antal förberedande laboratorieförsök gjordes för att öka kunskapen om pyrolysolja.

Ett antal tändförsök på kraftverket block 3 gjordes på pyrolysolja med befintlig tändbrännare. Proverna visade att tändbrännarens effekt inte är tillräcklig. För att tända pyrolysoljan användes eldningsoljeflamman från intilliggande brännare.

För jämförelse av olika atomiseringsmedier genomfördes test av luft- och ångatomisering. Ångatomisering ger något mindre droppstorlek för pyrolysoljan, förbränning sker närmare brännardysan och ger mindre gnistbildning. Detta tyder på en bättre atomisering. Luftatomisering ger något mer stabil flamma. Ytterligare prov bör göras för att kontrollera emissionsnivåer.

Förbränningstest på 130 MWth visade på mycket god förbränning. Det var inga höga halter av CO efter pannan. Trots att flammen brinner längre från brännaren jämfört med eldningsolja slog flammorna inte i eldstadens bakvägg. Det hittades inga bränslepåslag, kladdigt oförbränt eller liknande i eldstaden efter proveldningen. Teoretiska uträkningar på rökgasvolymen vid förbränning av pyrolysolja visar på en marginell ökning av rökgasvolymen vid samma tillförda termiska effekt.

Emissionsmätningen efter pannan visade att NO_x-halten halverades jämfört med HD-olja (högsvavlig eldningsolja med hög densitet).

Elfiltret gav en högre avskiljningsgrad för stoft från pyrolysolja jämfört med HD-olja. Stoftet från pyrolysoljan är lättare avskilja i elfiltret.

5 Färdig bränslemix av halm, flis och additiv från terminal till kraftvärmeverk

FÖRFATTARE Susanne Paulrud
Anders Hjörnhede
Marcus Öhman

RAPPORT 2015:149

ISBN 978-91-7673-149-9

Idag eldas huvudsakligen olika sortiment av skogsflis, avfall och returbränslen på värmeverken. För att kunna säkra bränslemängder och flöden av biobränslen även i framtiden behöver fler biobränslesortiment testas och verifieras. Exempel på ett outnyttjat bränsle är halm. Svårigheten med halm är att det krävs en mer avancerad logistik och bränslehantering för att få in bränslet i pannan. För att huvuddelen av de befintliga värmeverk som använder skogsflis idag ska bli intresserade av att ta in halm i sin produktion krävs att bränslet levereras som en färdig bränsleprodukt från en terminal. Användningen av biobränslen kan orsaka besvärande askrelaterade driftsproblem varav beläggingsbildning, högtemperaturkorrosion och bäddagglomerering i kraftvärmeverkens anläggningar uppmärksammats under en längre tid. Att blanda in halm kan öka risken för dessa problem då halm oftast innehåller högre halter av K och Cl. Ett sätt att minska askrelaterade driftproblem är att tillsätta lämpliga additiv.

I den här studien har fördjupande kunskaper tagits fram om gips som additiv kan minska eventuella driftproblem som kan uppstå vid inblandning av kornhalm i en träbränslemix. För att verifiera additivens effekt har fullskaleförsök genomförts med gips och svavel som additiv om 2- och 0,3 vikts-% (på våt bränslebasis) till en bränslemix med 20 vikts-% kornhalm och 80 vikts-% energived i Borås Energi & Miljös 2x65 MW rosteranläggning (50 bar, 500°C). Bränslemixen har tagits fram och levererats av Lundby Maskinstation som bedriver terminalverksamhet i Trädet utanför Ulricehamn.

Några av projektets slutsatser är att inledande modellberäkningar visar på en teoretisk möjlighet att vid inblandning av såväl gips som svavel både kunna reducera slaggningsintensiteten och mängden kalium som går till gasfas och kunna reducera beläggingsbildnings-/korrosionsrisken på överhettare och andra konvektionsytor vid användning av en bränslemix som innehåller 20% kornhalm. Fullskaleförsöken visar att halmen på ett kostnadseffektivt sätt kan sönderdelas med konventionella krossar på terminal och mixas med energivedsflis. Optimering krävs vad gäller sönderdelning (finhet) och inblandningsgrad för varje specifik anläggning för att minska risken för problem i bränslematningen. Genom att mixa in additiven i samband med sönderdelningen av halmen, d.v.s. där additiven gick igenom riven tillsammans med bränslet lyckades inblandningen mycket bra. Förbränningsförsöken visade att vid inblandning av halm och additiv fås lägre CO och högre temperatur samt att SO₂ ökar markant i jämförelse med referensbränslet,

100 % energivedsflis. Svavel till klorförhållandet i beläggningarna på beläggningsringarna ökade vid inblandning av gips och svavel till bränslmixen varav KCl halten reduceras och K_2SO_4 -och $CaSO_4$ -halten ökade vid inblandning av gips och svavel. Koncentrationen av klor reducerades och halten svavel ökade hos de fina partiklarna ($< 1 \mu m$) vid inblandning av gips och svavel. Resultaten från projektet visar att samma effekt kan uppnås med gips som svavel, vid användning som additiv. Resultaten är i linje med tidigare tester och visar på möjligheten att kunna reducera beläggningsbildnings-/korrosionsrisken på överhettare och andra konvektionsytor vid gipsinblandning till rostereldade pannor.

6 Advanced Temperature Measurements on/in/beneath TBC coatings

FÖRFATTARE Mattias Richter
Fahed Abou Nada
Nicolaie Markocsan
Jenny Larfeldt
Xin-Hai Li
Andreas Lantz

RAPPORT 2015:213

ISBN 978-91-7673-213-7

Projektets huvudsyfte är att utveckla och tillämpa en teknik för att beröringsfritt mäta temperatur på ytan och under ytan av termiska barriärer så kallade TBC-skikt. TBC - Thermal Barrier Coatings. I gasturbiner skalar verkningsgraden med temperaturen på de förbrända gaserna från brännkammaren in till turbinen. De metalliska material som används i väggar och skovlar har redan idag smältpunkter som ligger under förbränningstemperaturen. Att detta överhuvudtaget är möjligt beror på att metallytorna kan skyddas av keramiska beläggningar som isolerar termiskt och på så sätt minskar värmelasten. För att kunna pressa upp verkningsgraden ytterligare i framtida gasturbiner så är det önskvärt att kunna använda ännu högre brännkammartemperaturer. För att detta skall vara realiserbart krävs det att man kan mäta och hålla koll på temperaturerna i TBC-skikten. Dels vill man beröringsfritt kunna mäta temperaturen på ytan och dels på ett givet djup under ytan.

För detta ändamål har projektet undersökt möjligheterna att utföra temperaturmätningar med hjälp av termografiska fosforer. I korthet bygger tekniken på att ytan beläggs med ett tunt skikt av den temperaturkänsliga fosfor. Därefter belyses fosfor med laserstrålning varefter ytan sänder ut ljus. Genom att utnyttja temperaturberoendet hos de spektrala och temporala egenskaperna för detta ljus, så kan man komma åt temperaturinformationen. Den approach som bedömdes ha bäst förutsättningar i denna applikation var temperaturbestämning genom mätning av ljusets avklingningstid. Initialt genomfördes tester i en högttemperaturugn för att identifiera lämpliga sensormaterial. För yttemperaturen blev lösningen mycket bra då det visade sig att en ny typ av TBC var stabiliserad med Dysprosium, ett ämne som ofta förekommer i termografiska fosforer. Det visade sig att DySZ kunde användas både som termisk barriär och som sensor i det förväntade temperaturområdet. För mätningar på ett sensorskikt beläget under TBC:n blev sökandet efter lämpliga kombinationer av fosfor och TBC betydligt mer komplicerat. Det största problemet orsakades av kraftig UV-absorption hos de kommersiella TBC-materialen, samt höga halter av störande föroreningar. I korthet identifierades slutligen en lovande lösning där Y₂O₃:Eu användes som sensor under en "research grade" TBC, (Metco, 204B-NS). Genom detta val kunde excitationen

ske med grön laserstrålning vilken uppvisade bättre penetrationsförmåga än den UVstrålning som vanligtvis används.

Som ett avslutande test av applicerbarheten utfördes ett fullskaligt försök i Siemens testrigg för brännare. Högskolan Väst belade brännaren med nämnda TBC/sensorskikt varefter mätningar genomfördes på plats i Finspång. Resultaten visade, glädjande nog, att det var möjligt att beröringsfritt extrahera temperaturinformation från ytan och från positioner ända ner till 300µm under ytan. Av sekretesskäl har uppmätta temperaturer skalats om (normaliserats) i rapporten.

7 Improved combustion in fluidized bed with manganese ore as bed material

FÖRFATTARE Magnus Rydén
Malin Hanning
Fredrik Lind

RAPPORT 2016:247

ISBN 978-91-7673-247-2

Omblandning av bränsle och syre från förbränningsluften är en av de viktigaste faktorerna som påverkar förbränningsresultatet i termiska kraftverk. Oxygen Carrier Aided Combustion (OCAC) är ett nytt förbränningskoncept med en intressant extra mekanism med potential att förbättra omblandningen mellan bränsle och syre rejält.

OCAC bygger på förbränning i fluidiserad bädd. Idén är att helt eller delvis ersätta det pulverformiga bäddmaterialet (vanligen kvartssand) som används i denna typ av anläggningar med ett kemiskt aktivt syrebärande material. I bränslerika delar av förbränningsrummet kommer det syrebärande materialet att reduceras av bränslet, medan det i syrerika delar kommer att oxideras. Genom att möjliggöra kemisk reaktion mellan bäddmaterialet och bränslet skapas en helt ny mekanism för omvandling av bränslet. Förfarandet medger också för transport av syre i inte bara i rumsdimensionen, utan också i tidsdimensionen.

Denna rapport beskriver OCAC med manganmalm som aktivt syrebärande bäddmaterial. Konceptet har undersökts i två experimentella studier. Den första beskriver beredning av och experiment med fem olika manganmalmer i en mindre labbreaktor, vilken nyttjar bäddmängder i storleksordningen 140-200 g. Bränslet var metan samt metan blandat med ammoniak (det sistnämnda för att undersöka effekt på NO_x-bildning). Den andra studien beskriver försök i en lite större cirkulerande fluidiserad bädd (CFB-panna). Till denna studie införskaffades en större mängd manganmalm (>12 ton). Bränslet var här träflis. Anläggningen kördes i 23 dagar med 10-100% manganmalm i bädden. Av dessa involverade 14 dagar forskningsverksamhet.

Bland annat kan följande slutsatser dras av projektet:

- OCAC-förbränning av biomassa med manganmalm som bäddmaterial uppvisar potential att kunna förbättra prestandan i befintliga fluidiserad bäddpannor.
- För låga lambda (<1.11) uppmättes beroende på inblandningsgrad av manganmalm mellan 5% ökning och 70% sänkning av CO, medan det för något högre lambda erhöles likvärdiga eller ökade CO-halter. Resultaten antyder att en betydande minskning av luft-bränsle-förhållandet för förbränning skulle vara möjlig, utan att mängden oförbränt ökar jämfört med referens.

- 100% manganmalm som bäddmaterial resulterade i kraftigt ökade emissioner av CO och NO jämfört med referensförsök. I kombination med sekundär åtgärd i form av tillsats av elementärt svavel kunde en minskning i CO-emissioner på 60-90% för låga lambda (<1.11) erhållas. Motivet bakom att dosera svavel var att tillföra en alternativ mekanism för att bortföra kalium, då manganmalmen i sig hade hög kaliumhalt och misstänks ha haft begränsad förmåga att adsorbera mer. Men då svaveltillsats vid förbränning i fluidbädd sig kan leda till sänkning av CO-emissioner är det oklart vilka slutsatser som kan dras.
- Efter en tids drift i CFB-pannan ökade emissionerna av CO och NO betydligt. Detta gällde också blandningar av manganmalm och sand. Vi tror att detta var relaterat till ackumulering av askkomponenter i bädden, i huvudsak kalium. Under aktuella försök regenererades bädden sparsamt och inte i samma utsträckning som vid körning med sand. Detta är en faktor som behöver undersökas närmare.
- Ur ett rent operativt perspektiv fungerade manganmalm utmärkt som bäddmaterial i fluidiserad bädd. Inga problem med agglomereringar, nötning eller förslitning noteras.

Labbexperimenten visade att syrebärande partiklar kunde beredas ur olika malmer. Dessa hade dock mycket olika mekaniska egenskaper. Särskilt densiteten varierade betydligt vilket antyder att inte alla malmer är lämpliga som bäddmaterial utan något typ av förbehandling.

8 Snabb fukthaltsmätning av trädbränsle med radar teknik

FÖRFATTARE	Patrik Ottoson Daniel Andersson Inger Lindbäck Jahn Johansson Per Ericsson Uno Brinnen
RAPPORT	2015:168
ISBN	978-91-7673-168-0

Det finns 580 fjärrvärmenät och 125 större biobränsleeldade anläggningar i Sverige. Biobränslet utgörs företrädesvis av fyra sorters trädbränsle: returträ, GROT (grenar och toppar), bark och cellulosafälls. Fukthalten torde kunna mätas direkt, snabbt och tillförlitligt, och därigenom bestämmas med ett radarsystem inom 60 sekunder. Provtagning torde kunna göras av hela lasten varvid ett representativt medelvärde erhålls. Snabbare och mer tillförlitlig fukthaltsmätning leder till effektivare logistik och bränslehantering, vilket har beräknats ge besparingar på motsvarande 2-4 Mkr per år.

För ofarlig, oförstörande och beröringsfri mätning med hög noggrannhet av fukthalten har en UWB-radar (ultra wideband) använts. Vid frekvensanalys går det att konstatera 0,75 GHz är en lämplig centerfrekvens för mätning på tempererat trädbränsle ($>0^{\circ}\text{C}$). Även lägre frekvenser kan fungera väl. Huvuddelen av mätningarna inom förstudien har dock gjorts med centerfrekvensen 2 GHz.

Projektet har visat att fukthalten i tempererat trädbränsle ($>0^{\circ}\text{C}$) kan bestämmas med en noggrannhet på 3 procentenheter. Noggrannheten kan öka ytterligare genom att göra ytterligare kalibreringsmätningar, separat modellering av respektive trädbränsle, modellering med Debyes relaxationsformel, mäta och modellera dämpningen samt mäta och modellera temperaturen och densiteten. Enligt den nya virkesmätningsslagen (SKSFS 2014:11) krävs dock en noggrannhet på 2 procentenheter för att bestämning av fukthalten i trädbränsle med en fukthalt under 65% (torrhalt över 35%).

Radarmätningar (dielektricitetskonstanten och dämpningen) av trädbränsle påverkas av fukthalt, temperatur, densitet och frekvensval. Dielektricitetskonstanten och dämpningen är mycket lägre (4-5 gånger) för fryst material och snöklumpar än för temperat fuktigt trädbränsle ($>0^{\circ}\text{C}$). Det innebär att temperaturen måste mätas och modelleras för att erhålla rätt fukthalt vid frystemperaturer. Mätupplösningen i fukthaltsmätning minskar som en konsekvens av att dielektricitetskonstanten är lägre för fryst material. Mätning på långa avstånd (bredden av en flisbil) torde öka upplösningen och noggrannheten. I princip ska det dubbla avståndet ge dubbel upplösning och noggrannhet.

Mätningar på fryst trädbränsle gjordes på en provlåda om 30 cm, vilket innebär cirka 8 gånger högre potentiell noggrannhet på verklig flisbil (240 cm). Även kompletterande modellering av dämpning och densitet torde kunna öka möjligheten till rätt fukthaltsbestämning. Frekvensen påverkar dämpning och dielektricitetskonstant, därför måste lämplig frekvens väljas för fryst material (troligtvis högre än för tempererat trädbränsle ($>0^{\circ}\text{C}$)).

Projektet har visat att det är möjligt att mäta på långt avstånd (efterliknar mätning på flisbil) på tempererat fuktigt trädbränsle ($>0^{\circ}\text{C}$) med centerfrekvensen 0,75 GHz. Signalerna är fina och har ett högt signal-till-brus-förhållande (SNR). I testet kunde fukthalten bestämmas med en avvikelse på 1,6 procentenheter.

Under projekttiden har en ny lag om virkesmätning trätt i kraft. Noggrannhetssiffrorna från projektet vittnar om att mätning med radar torde kunna användas, för att matcha de krav som den nya lagen stipulerar, om noggrannheten ökar med 1 procentenhet. Därför skulle ett framtida radio- och radarbaserat mätsystem kunna användas även som en del i ett debiteringssystem för att säkerställa rätt betalning. Inblandade projektparter föreslår med givna resultat att ett prototypprojekt planeras och genomförs. Det är viktigt att inledningsvis visa hur temperatur och densitet ska kunna modelleras för att nå högre noggrannhet i bestämningen av fukthalten. Det är också viktigt att få fram en stabilare referensmätningss metod, då nuvarande torkning påverkas stort av den omgivande luftens relativa fukthalt.

9 Salix som bränsle från kadmiumbelastad åkermark

FÖRFATTARE Susanne Paulrud
Anders Hjörnhede
Magnus Svensson
Fredrik Axby

RAPPORT 2015:189

ISBN 978-91-7673-189-5

Tidigare studier visar att salixodling är en effektiv metod att rena åkermark från kadmium. En välskött salixodling står för ett årligt upptag som är 20 till 50 gånger högre än för spannmål. Genom att odla salix innan vete fås därmed en minskad kadmiumhalt i vetet. Om salix ska fungera som en gröda med syfte att både producera energi och rena åkermark från tungmetaller behövs mer kunskap hur tex kadmium ska hanteras på värmeverken. Med ökad användning av salixflis från kadmiumrika marker finns risk att kadmiumhalten ökar i kondensatet då salix har betydligt högre halter än skogsbränsle, i snitt 5-10 gånger högre halter. I den här studien har målet varit att genomföra fullskaleförsök med bränslemixar av skogsflis och salixflis i en 2x10 MW biobränsleanläggning hos Ystad Energi samt att föreslå åtgärder för att minska ev. problem med kadmium i aska och kondensat.

Vid förbränningsförsöken användes en blandning av 50 volym-% salixflis och 50 volym-% lövflis. För att hitta en salixodling med hög kadmiumhalt gjordes en provtagning för analys av kadmium i två olika odlingar i två områden som bedömdes ligga på kadmiumrika marker i Skåne. Två olika försök med en mix av salixflis (lövad och ej lövad) och lövträdsflis genomfördes om tre dagar vardera varav mätningar utfördes dag tre, dvs pannan eldades med salixflis minst två dagar innan mätning. Innan försök med salixflis genomfördes mätning på 100 % lövträdsflis (referensbränsle) under en dag, därefter påbörjades salixförsöket. Rökgaserna analyserades kontinuerligt under provperioden och provtagning av totalstoft genomfördes samtidigt tre gånger per mättillfälle, före cyklon, efter cyklon samt efter venturi. Provtagning av kondensat gjordes efter venturi vid sex olika tillfällen, vid tre av dessa gjordes en sk. totalanalys vilket innefattar samtliga element. Bränsleprov, flygaskprov och bottenaskprov togs ut vid tre tillfällen under varje mätperiod för respektive bränsle.

Salixmixen visade inga större skillnader i bränsleegenskaper för huvudelementen i jämförelse med referensbränslet. Störst skillnad uppvisade spärelementen zink och kadmium med ca 5-6 gånger högre kadmiumhalt i salixmixen. För den salixsort som användes vid försöket så ökade inte kadmiumhalten i lövad salix (prov från maj månad) i jämförelse med salix utan löv (mars månad). Efter förbränning återfanns huvuddelen av kadmiumet i flygaskan och där kadmiumhalten var ca 75-100 % högre i flygaskan från salixmixen i jämförelse med referensbränslet. Huvuddelen (>85 %) av kadmiumet hamnade i cyklonaskan vid förbränning i den testade anläggningen medan ökningen i kondensatet var marginell vid

inblandning av salix. Rekommenderade halter för kadmium vid askspridning i skogen är max 30 mg/kg ts. Flygaskan vid försöket hos Ystad värmeverk innehöll högre halter (36-45 mg/kg ts). Eftersom bottenaskan och flygaskan blandas innan askspridning, så kommer dock inte halterna av kadmium att överskridas om andelen flygaska är ca 30 %. Eventuella åtgärder i värmeverket som krävs vid användning av salix med höga kadmiumhalter styrs av inblandningsgraden av salix och kadmiumhalten i bränslet. En inblandning av 10-20 % salix kan tillåta högre kadmiumhalter än 1,5 mg/kg ts bränsle (resultatet i denna studie) för att inte överskrida tillåtna halt för askspridning i skogen. En viktig frågeställning att ta hänsyn till är om kadmiumet ur ett miljöperspektiv ska flyttas från åkermarken till skogen via askåterföring eller om kadmiumet bör omhändertas. Rent tekniskt är det inga problem att hålla isär flygaskan från bottenaskan men det medför en extra kostnad för värmeverket att deponera flygaskan vilket kan minska intresset att ta emot salix.

10 Termisk sprutning med HVAF (High Velocity Air Fuel) för korrosions- och erosionsskydd av pannor

FÖRFATTARE Matti Huhtakangas, Leyla Wickström, Rikard Norling

RAPPORT Rapport 2015:214

ISBN 978-91-7673-214-4

Termisk sprutning av komponenter i pannor utsatta för korrosion och/eller erosion har utförts i större omfattning sedan 1980-talet, med varierande resultat. Som erosionsskydd har det huvudsakligen fungerat väl medan som korrosionsskydd, eller skydd mot kombinationen erosion och korrosion, har det varit betydligt större spridning gällande resultaten. Under 2000-talet har andelen "svåra" bränslen ökat vid kraft- och värmeproduktion, vilket ger ökad risk för korrosion av pannornas olika komponenter. Detta medför utmaningar för äldre tekniker för termisk sprutning. Historiskt har följande processer använts, nämnda i tidsordning, flamsprutning, ljusbåge (Arc), plasma, höghastighetsprutning (HVOF).

Under senare tid har det framtagits en teknik benämnd HVAF (High Velocity Air Fuel) som med hjälp av högre kinetisk energi får en väsentligt ökad partikelhastighet för det sprutade pulvret. Detta har gett väsentligt högre bindhållfasthet och täthet vilket har stor betydelse dels för beständigheten avseende den termiska cyklingen som dessa skikt utsätts för, samt dels blir det minskad risk för penetration av korrosiva komponenter från bränslet.

Arbetet i denna rapport har syftat till att utvärdera potentialen för att använda HVAF-processen i korrosiva miljöer och vilka skillnader det blir jämfört med tidigare sprutprocesser och påläggssvetsning samt med komponenters grundmaterial som referens. Som första steg utfördes parameteroptimering av en modifierad Alloy 625 benämnd CorErTM som har tillsatser vilka främst ökar hårdheten jämfört med standard Alloy 625. Detta efterföljdes av korrosionsprovning i laboratorium, med salter typiska vid förbränning av "svåra" bränslen. Temperaturer för provningen valdes till 360 °C och 600 °C för att simulera yttemperaturer för eldstadskomponenter respektive överhettare.

Arbetet har visat på att fältexponeringstid om ca. 1 år (en driftsäsong) är för kort för att besvara skillnader mellan de olika sprutprocesserna samt prestanda för påläggssvetsat Alloy 625 (I-625), även känt som Inconel[®] 625. Vidare har arbetet visat på en betydande förbättring av korrosionsmotståndet hos sprutade skikt som tätats, t.o.m. för skikt sprutade med ljusbåge (Arc). Dock har både laboratorie- och fältprover visat en klar skillnad mellan referensmaterialet kolstål och de sprutade och svetsade skikten. Här framkommer en tydlig korrosion på referensmaterialet, vilket visar på betydelsen av både de sprutade och svetsade skikten. HVAF uppvisade därtill en mindre benägenhet till delaminering under fältexponering än HVOF och ljusbåge.

11 Handbok för inspektion av glasfiberarmerad plast

FÖRFATTARE Johan Samuelsson
Caroline Ankerfors
Pernilla Utterström

RAPPORT 2015:180

ISBN 978-91-7673-180-2

GAP är ett samlingsnamn för en stor grupp material som har den gemensamma nämnaren att de är hårdplaster armerade med glasfiber – glasfiberarmerad plast.

Denna handbok består av fem huvudsakliga delar: en introduktion till de grundläggande begreppen inom GAP-området med ett sammanfattande avsnitt om gällande standarder och normer, metoder för oförstörande provning som inspektionsmetod för statusbedömning, ett avsnitt om olika typer av skador i GAP samt ett avsnitt om reparationer och åtgärder. Handboken avslutas med ett kapitel som beskriver beräkning och datormodellering av defekter.

Kapitlet om GAP sammanfattar begreppet glasfiberarmerad plast och ger en översikt om vad materialet består av och hur det tillverkas. Typiska hårdplastsystem, glasfiber- och armeringstyper beskrivs inledningsvis och kapitlet avslutas med en översiktlig beskrivning av gällande standarder och normer. Aktuella föreskrifters tillämpningsområde och omfattning sammanfattas i en tabell.

Avsnittet om metoder för oförstörande provning (OFP) syftar till att kort beskriva de metoder som finns idag, bl.a. ultraljudsprovning, digitalröntgen och visuell inspektion. Metodernas för-, nackdelar och tillgänglighet diskuteras.

Olika skadetyper beskrivs sedan i det följande kapitlet med bilder och diskuteras med avseende på uppkomst, tillväxt och hur de bör bedömas vid en inspektion.

Avslutningsvis ingår ett kapitel som beskriver modellering av defekter och ger ett exempel på hur beräkning av en defekts påverkan på ett laminat kan gå till.

Handboken är tänkt att vara ett stöd och ge vägledning i hur processutrustning i GAP kan inspekteras och hur skador bör bedömas. Denna handbok är tänkt som ett stöd till den skadeatlas som skrivits i projektet. Atlasen är en mer kortfattad version av denna handbok med ett större fokus på att tydligt beskriva bedömningskriterier och tillämpbara OFP-metoder.

Alla bilder i denna rapport är tagna av Swerea KIMAB, Inspecta Sweden eller Termap om inget annat anges.

Projektet är finansierat av Energiforsk och Energimyndigheten med medfinansiering från Swerea KIMAB samt Inspecta Sweden.

12 Handbok för livslängdsarbete med energianläggningar

FÖRFATTARE Jan Storesund
RAPPORT 2015:150
ISBN 978-91-7673-150-5

The handbook consists of three parts:

General section
 Mechanical components
 Examples

The general section gives to begin with a description of power and heat technology. Then follows the different constituents that are have importance for power plant life time management. The titles of the different subsections indicate the content:

- Assessment of the condition of a plant and its remaining lifetime.
- Strategies and targets for the life time assessment.
- Damage mechanisms
- Non-destructive testing
- Destructive testing
- Solid mechanics and damage tolerance analysis
- Risk based methods for inspection and maintenance planning
- Economy and economic life time
- Practical work with lifetime assessments

The subtitles for the sections above indicate what is important to notice within the life assessment. In addition, the different methods and mechanisms that exist are enumerated. An overview is thereby given in the list of contents.

The handbook is disposed in such a way that the structure of the plant can be overviewed relatively easily. In general, the plant is divided in three levels:

1. Plant level
2. System level
3. Component level

By these levels the work of lifetime assessments is divided in larger and smaller perspectives. The aim of the life time work and the economic together with the strategic questions within this aim can involve significant differences between these levels. This is high lightened in section 1-3 "Assessment of the condition of a plant and its remaining life time".

The list of content of the second part of the handbook: "Mechanical components", are in principal disposed such as the main titles are different parts of the plant. Subtitles are different systems in a part of the plant and the third level describes components in a system.

- 2.1. Boilers
- 2.2. Steam piping
- 2.3. Turbine plant (turbines and generators)
- 2.4. Feed water plant
- 2.5. Auxiliary parts and systems

The different parts of the plant are given a general description of process, design, critical components and typical materials. Then follow descriptions of damage that may occur and recommended testing as well as methods for determination of the current and assessment of remaining lifetime.

The goal is to describe the links between occurring damage and ageing, relevant testing and possibilities and limitations for lifetime assessments. By the



Figure 1. Examples of parts and systems in a CFB boiler power station.

understanding of this it will be facilitated for the plant owner to manage a constructive lifetime work, both for separate components and for the entire plant.

In the general part there are sections that describe damage mechanisms and testing methods that are related to the specific problems that can occur in different components.

The examples in the third part of the handbook cover life time assessments of a boiler and a steam turbine. The study of the boiler was the first systematic life time assessment at this plant. A failure effect analysis was used for selection of critical components. Concepts for a holistic approach for life time assessments was developed and applied. This approach includes in addition to a method for selection of critical components, tailored testing and inspections also a risk based inspection planning, risk based reinvestments and organization of the work. The analysis is a pilot project in this kind which can be illuminating and directive for i) the general planning of the reinvestment needs for an entire plant and ii) the risk based philosophy with regards to safety, environment and economy.

Also the assessment of the steam turbine is a pilot project. In this case a first analysis was carried out 9 years before. The current analysis is the second one and follows the methods that are described in the handbook. The first analysis is described as well. Actions for prolongation of the turbine life time are also described. These actions are based on the results from both analyses. A number of components were classified as critical after the first analysis. After the second one this number of components was significantly reduced.

Together, the three parts in the handbook forms the bases for life time assessments in broader as well as a smaller perspective. In the larger context technical life time, strategies, and sometimes economic analyses are linked together to make it possible to assess the remaining life time.

13 Tungmetalljonbytare för rening av rökgaskondensat

FÖRFATTARE Barbara Goldschmidt
Per-Olof Johansson
Henrik Olsson
Magnus Svensson

RAPPORT 2015:148

ISBN 978-91-7673-148-2

Tungmetallselektiva jonbytare har använts för rening av rökgaskondensat under ett tiotal år nu. Tungmetalljonbytaren används både som huvudsakligt reningssteg, efter partikelavskiljning med till exempel sandfilter och påsfilter, och som polisfilter efter t ex en fällningsanläggning som inte ensam klarar utsläppskraven under alla driftförhållanden.

Tre olika typer av tungmetallselektiva jonbytare förekommer i kondensatreningssystem. Förutom jonbytare som är selektiva för tvåvärda tungmetaller (och kallas 2+-jonbytare i denna rapport), vilket innebär att jonbytarna binder tungmetaller hårdare än t ex kalcium och andra alkaliska jordartsmetaller, används också jonbytare som är selektiva för kvicksilver och jonbytare som är selektiva för arsenik.

Idag råder osäkerhet om hur olika typer av jonbytare ska kombineras i en anläggning som har behov av flera olika typer av tungmetalljonbytare. Olika anläggningar har valt olika strategier, och kvicksilverselektiva jonbytare placeras ibland först och ibland sist i jonbytarkedjan. Också jonbytarnas drift-pH varierar ute på anläggningarna och det finns olika uppfattningar om vilka pH som är optimala.

Med projektet som redovisas i denna rapport har vi försökt att utöka befintlig kunskap på området. Rapporten innehåller en genomgång av erfarenheter från befintliga anläggningar med tungmetallselektiva jonbytare. Den innehåller också resultat från försök med rökgaskondensat i pilotskala. Dessa försök har genomförts för att undersöka hur tungmetallavskiljningsförmågan varierar som funktion av pH för olika typer av rökgaskondensat och med olika jonbytare.

Tolv anläggningar som renar rökgaskondensat med tungmetalljonbytare intervjuades, både biobränsleeldade och avfallseldade. Från hälften av anläggningarna tog vi ut och analyserade vattenprover från ett antal punkter i kondensatreningen.

Under pilotförsöken testades 2+-jonbytare i området pH 3-8, Hg-jonbytare i området pH 4-8, och As-jonbytare i området pH 5-8 utan att vi såg någon skillnad i tungmetallavskiljningsgrad som funktion av pH.

Pilotförsöken visade också att både As-jonbytare och Hg-jonbytare tar upp mer än bara As respektive Hg. Avskiljningen av övriga tungmetaller är ibland lika bra som med 2+- jonbytare.

Dessutom visade pilotförsöken att höga salthalter, som t ex i klorid- och sulfathaltigt vatten från quench- eller surskrubbersteg, kan inverka störande på tungmetalljonbytarnas funktion.

Sökord: Vattenrening, rökgaskondensat, survatten, tungmetaller, jonbytare, TMT

15

14 Konsekvenser av cyklisk drift - SICC

FÖRFATTARE Jan Storesund
Daniel Mångård

RAPPORT 2015:192

ISBN 978-91-7673-192-5

Föreliggande projekt behandlar initiering och tillväxt av töjningsinducerad korrosionssprickning, SICC, hos vattenberörda komponenter i pannor. Tillväxt av SICC är kopplat till kallstarter av pannan och en ökad frekvens kallstarter skulle kunna medföra reducerad livslängd hos kritiska komponenter. Projektet är en fördjupning i och fortsatta studier av två tidigare Värmeforskprojekt på området [1] och [2]. I [2] studerades tillväxtlagar för SICC hos ångdomar vilket har följts upp med ett utökat underlag av analyserade fall från verkligheten. Antal driftcykler och tid för kallstart har beaktats i detalj. Dessutom har SICC i vägglådor inkluderats i studien. Initieringsmekanismerna för SICC har studerats genom litteraturen och jämförelser med metallografiska studier av komponenter som har varit i drift.

SICC förekommer frekvent även i panntuber där det finns spänningskoncentrationer och detta har analyserats. Framförallt har inverkan av komponentgeometrier och sprickstorlekar på spänningsintensiteten, K_1 , studerats eftersom K_1 , utöver antalet driftcykler, är styrande för spricktillväxten. Tre geometrier har studerats: tubböjar, anslutning mellan sidovägg och mellanvägg samt anslutning mellan vägg och golv. Följande slutsatser kan dras från resultaten:

- Observerad spricktillväxt hos analyserade komponenter, nio domar och en vägglåda, visar god överensstämmelse med en tillväxtlag för SICC framtagna genom experimentella data.
- Förståelsen för initieringsmekanismerna har ökat. Experimentella studier behövs för att kunna förutsäga sprickinitiering.
- Lösningar för K_1 har tagits fram för genomgående tubgenomföringar i ångdomar.
- Observerad spricktillväxt hos analyserad vägglåda ligger i linje med resultaten för domarna.
- Analys av tubböjar och inspända tuber visar att K_1 ökar signifikant med spricklängd/-djupfaktor. Ökningen kan beskrivas som logaritmisk. Både analyser och skadefall visar att denna faktor är hög (>20) hos samtliga tre undersökta tubgeometrier.
- Ovalitet och sprickdjup (1, 2 eller 3 mm) har en ökande inverkan på K_1 med större spricklängd/-djupfaktorer hos rörböjar.
- Tub med extra fena (väggstub men infäst mellanvägg) och infästning av golv mot vägg ger liknande resultat som rörböjen. Inverkan av spricklängd/-djupfaktor och sprickdjup på K_1 är dock svagare.
- Skadefallsundersökningar visar att SICC ofta initieras från frätgropar. Hos inspända tuber bildas frätgropar längs spänningskoncentrationer. När de

övergår i sprickbildning är sprickdjupet på en gång relativt stort medförande relativt höga spricktillväxthastigheter.

- Med hjälp av tubprov och skadetålighetsanalys kan det avgöras om en viss geometri av inspända tuber eller rörböjar är känsliga för SICC och baserat på framkomna projektresultat kan den återstående livslängden kan beräknas.

15 Development of testing method for the evaluation of cyclic operation

FÖRFATTARE Frans Palmert, Johan Moverare

RAPPORT 2015:193

ISBN 978-91-7673-193-2

Tillgänglighet är en mycket viktig parameter för kraft- och värmeproduktionsanläggningar då kostnaden för ej planerade stopp är mycket höga. Fluktuationer i elpris och ökningen av vind- och solkraft medför att allt fler nya och befintliga anläggningar tvingas köras under cykliska driftsförhållanden, vilket ökar påfrestningarna på materialen i anläggningarna. Behovet av bättre och säkrare metoder för att utvärdera riskerna med cyklisk drift är alltså stort. Dessa metoder kräver dock även att relevanta provdata finns tillgängliga för relevanta material. Traditionellt har man ofta använt sig av isoterma utmattningsprov men dessa kan vara mycket missvisande om driftstemperaturen är hög och lastcykeln i huvudsak härrör från start- och stoppcykler med stora temperaturvariationer. Det är därför av stor vikt att provning återspeglar verkliga driftsförhållanden så naturtroget som möjligt i så kallad termomekanisk utmattningsprovning (TMF) där både last och temperatur varierar cykliskt.

Standarder för TMF är relativt nya (ASTM E2368-10 och ISO 12111:2011) och täcker än så länge bara provning på släta provstavar och cykler till sprickinitiering. Två viktiga aspekter saknas således fortfarande: provning på anvisade provstavar och prov för att bestämma spricktillväxthastigheter under TMF förhållanden. Ett steg mot att även inkludera dessa två aspekter finns i det initiativ till en s.k. Code-of-practice för spänningsstyrd TMF-provning som bedrivs inom ESIS's underkommitté för högtemperaturprovning (HTMTC). Syftet är att utveckla och i förlängningen standardisera en provmetod för spänningsstyrd termomekanisk utmattningsprovning.

Round robin-provning har utförts vid Siemens Industrial Turbomachinery AB (SIT) och vid Linköpings Universitet (LiU), för att utvärdera hur effektiv ovan nämnda Code-of-practice är för att minimera spridningen i resultat mellan olika laboratorier.

Från arbetet drogs följande slutsatser:

- Provningsmetoden gör det möjligt att studera spricktillväxt under TMF förhållanden, relevanta för gasturbinkomponenter.
- Provningsmetoden är lämplig för kraftstyrd såväl som töjningsstyrd TMF spricktillväxtprovning.
- Ingen signifikant spridning mellan de två labben hittades.
- Stor spridning konstaterades mellan tester utförda i samma labb under identiska testförhållanden. Orsaken till detta är antagligen den stora kornstorleken i materialet.

16 Minskning av ammoniumhalt i rök-gaskondensat

FÖRFATTARE Barbara Goldschmidt
Linda Wiig
Mari Lord

RAPPORT 2015:194

ISBN 978-91-7673-194-9

Den höga ammoniumhalten i rök-gaskondensat är till stor del en följd av att SNCR-teknik används för att minimera NO_x-utsläppet till luft från förbränningsanläggningarna. Överskottsammoniak från SNCR-anläggningen hamnar i rök-gaskondensat hos anläggningar med rök-gaskondensering. Anläggningarna kan välja mellan ett antal alternativ för att inte belasta recipienten med ammonium:

- Ammoniumabsorption i quench/sursteg och återföring av survatten till panna
- Rening med RO och återföring av rejekt till panna, quench eller våttorr stoftrening
- Rening med ammoniakkontaktmembran
- Rening med ammoniakstripper

I denna rapport diskuteras erfarenheter från biobränsle- och avfallseldade anläggningar som använder sig av ett eller flera av ovanstående alternativ för att begränsa utsläppen av ammonium till vatten. Som jämförelse diskuteras också erfarenheter från en anläggning som använder slip-SCR för att minimera ammoniakhalten i rök-gas och därmed också ammoniumhalten i rök-gaskondensat.

Åtta anläggningar har besökts inom ramen för projektet och intervjuats om sina erfarenheter. I samband med besöken togs stickprov på rök-gaskondensat ut för analys.

I rapporten diskuteras drifterfarenheter. Reningsteknikernas prestanda jämförs baserat på uttagna kondensatprover samt kompletterande data från anläggningarna. Kostnader för de olika alternativen diskuteras också i rapporten.

Alla teknikerna har potential att klara en reningsgrad på 90% eller högre.

Totalkostnaden för ammoniumavskiljning uppskattas till cirka 50 SEK/kg kväve för de två alternativen med quench/sursteg eller RO. Båda dessa alternativ kräver dock att man kan återföra en delström av survatten eller kondensat till t ex pannan.

För de två alternativen med kontaktmembran eller stripper har kostnaden beräknats till cirka 250 SEK/kg kväve.

SCR-alternativet har en mycket högre beräknad totalkostnad. Med SCR når man dock en lägre NO_x-emission än med SNCR, vilket ger en lägre årlig kostnad i NO_xavgiftssystemet. Om denna kostnadsbesparing räknas in blir årskostnaden för

SCRalternativet inte högre än årskostnaden för stripper eller kontaktmembran. I vissa fall skulle SCR-alternativet till och med kunna konkurrera med quench/survattenåterföring eller RO-rejektåterföring till pannan.

Sökord: Rökgaskondensering, rökgaskondensat, survatten, kondensatrening, vattenrening, ammoniakavskiljning

17 Reparation av skyddande ytskikt som har skadats under drift

FÖRFATTARE Jan Wåle
RAPPORT 2015:195
ISBN 978-91-7673-195-6

För att skydda pannrör mot utvändiga angrepp används skyddande ytskikt. Syftet med detta projekt är att klargöra hur reparationer av ytskikt görs och hur de påverkar egenskaperna hos de reparerade rören. Målet med projektet är att ta fram tydliga riktlinjer som ska finnas till hands när skador upptäcks för att undvika förhastade beslut som leder till olämpliga åtgärder. Huvudsyftet är att förbättra tillgänglighet av anläggningen och öka personsäkerhet i de fall tubläckage kan leda till allvarliga konsekvenser.

Reparerade rörprover, som tagits ut i samband med besiktningar, har använts för undersökning i detta projekt. Totalt har 13 rörprover undersökts. Alla är tagna från sodapannor. Trots det kan de principer som beskrivs användas för andra typer av pannor. Varje rörprov har granskats visuellt och därefter undersökts i mikroskop via preparerade tvärsnitt.

Med utgångspunkt från resultaten har ett antal kritiska områden identifierats. Följande rekommendationer ges för respektive område:

- En gräns för största tillåten utbredningen av en svetsreparation bör finnas. Det innebär att svetsreparation av skador som har en utbredning som är större än acceptansgränsen kan ifrågasättas. Om sådana, trots allt, skall genomföras måste svetsningen styras upp med mål att minimera reparationens djup och tillförd värme.
- Efterbearbetning av svetsreparationer är motiverade när skademekanismen gynnas av lokala spänningskoncentrationer. Av de skademekanismer som identifierats i komponentrör är spänningskorrosion den som mest motiverar efterbearbetning. Vid godsförtunning av ytterkomponenten genom korrosion eller sprickbildning genom termisk utmattning kan efterbearbetning inte motiveras med samma resonemang.
- Underlaget i denna undersökning är begränsat eftersom endast ett prov innehåller flera reparationer i samma område. Detta prov visar dock kraftig på- verkan på innerkomponentens egenskaper. Ett konservativt förhållningssätt är att betrakta en svetsreparation som en temporär åtgärd. Ett byte av den skadade delen av rören vid nästa planerade underhållsstopp kan starkt rekommenderas.
- Denna undersökning visar klart att djupa svetsreparationer eller reparationer med stor värmeförsel påverkar magnetitskiktet på vattensidan. Det kan därför rekommenderas att minimera djupet på svetsreparationen och värmeförseln för att minimera sådana effekter.

- Denna undersökning visar ett tydligt samband mellan djupet hos svetsreparationen och inverkan på innerkomponentens egenskaper. Därför finns det anledning att begränsa både djupet på svetsreparationen och den tillförda värmen för att minimera värmepåverkan på innerkomponenten.

18 Safe and more reliable use of PP-materials in flue-gas cleaning

FÖRFATTARE Karin Jacobson
Dinko Lukes

RAPPORT 2015:196

ISBN 978-91-7673-196-3

Projektet har haft det övergripande målet att ge en bättre förståelse för hur livslängden hos PP material påverkas när de används i anläggningar för rökgasrening och kondensering. De viktigaste målen för projektet har varit: (1) att minska den termiska expansionen och kontraktionen genom att tillföra fyllmedel till PP-materialet, (2) att presentera en mera känslig teknik för att studera stabiliserarförlust, och (3) att i en databas presentera resultaten, och annan nyttig information, om plastmaterial i anläggningar för rökgasrening.

För undersökningen om fylld polypropen valdes tre olika typer av PP-material, α -PP, β -PP och PP-R. De fyllmedelsystem som undersöktes var 5-vikt% och 25-vikt% kalciumkarbonat (CaCO_3) belagt med stearinsyra och 10-vikt% av två olika typer av kimröksfyllmedel. Det högstrukturerade 600 JD och lågstrukturerade XC72. Alla olika fyllmedelstyper tillsattes till var och en av de tre olika plasterna.

De mekaniska, termiska och kemiska egenskaperna undersöktes sedan för proverna. De kemiska miljöer som undersöktes var:

- 5-vikt% och 25-vikt% saltsyra (HCl) för sur miljö vid 60°C
- 5-vikt% och 30 vikt% natriumhydroxid (NaOH) för alkalisk miljö vid 60°C
- 5 mg/l klorjordioxid (ClO_2) för en oxiderande miljö vid 50°C
- Högkoncentrerad NO/NO_2 -gasblandning vid rumstemperatur.

Materialen exponerades i dessa miljöer under 48 dagar med undantag för NO/NO_2 - gasblandningen i vilken materialen exponerades i cirka tre veckor vid rumstemperatur. Det viktigaste resultatet i studien om fyllda polypropener var att tillsatsen av 10-vikt% kimröksfyllmedel till viss del förbättrat både de termiska och mekaniska egenskaper som undersökts. Materialet med 10- vikt% 600JD visade både ökad draghållfasthet, modul (dock inte rapporterat på grund av datainsamlingsproblem) och slagtålighet. Materialen var också mycket lite påverkade av de olika kemiska miljöer som undersökts. Det fanns även en viss förbättring i stabilitet gentemot den oxidativa/radikalmiljön vid ClO_2 - exponeringen och i den koncentrerade NO/NO_2 - miljön.

Dessutom konstaterades att det finns ett enormt utbud av olika fyllmedel och ytbeläggningar för polypropen. Det finns också en mycket stor variation av olika polypropener. Visserligen uppvisade det mycket begränsade antalet kombinationer av fyllmedel/material som utvärderas i denna studie bara låga effekter på den termiska förlängningen, men det är förmodligen något som kan förbättras avsevärt. Det konstaterades också att bearbetningen i hög grad

bestämmer egenskaperna hos polypropen. Det betanukleerade materialet visade endast mycket lite betakristallinitet, och de material som bestod av α -PP och PP-R visade nästan lika mycket.

Tillsatsen av 5-vikt% och 25-vikt% kalciumkarbonat belagt med stearinsyra resulterade inte i någon särskild förbättring av materialegenskaperna, med undantag för en viss förbättring av slaghållfastheten. Materialen visade också en ökad känslighet för 25- vikt% HCl, NO/NO₂ och ClO₂.

Syftet med den andra delen av studien var att utveckla en metod för att bedöma den kvarvarande livslängden för polypropen genom en kvalitativ och/eller kvantitativ analys av stabilisatorer. FTIR är en kraftfull metod, men absorbanstoppen från den steriskt hindrade fenolen är svag och svår att upptäcka med FTIR. Genom reaktion med klordioxid (ClO₂) bildas emellertid en kinonstruktur som binder vatten, och detta ger en mycket starkare signal i spektrumet. Syftet var att undersöka huruvida det är möjligt att relatera den absorberade vattenmängden till stabilisatorkoncentrationen i polymeren. Dessutom utvärderades också andra metoder för bestämning av stabilisatortyp och stabilisatorkoncentration, såsom extraktion och påföljande analyser med användning av FTIR, HPLC och ESI-MS och även DART-MS som inte kräver extraktion.

Det visade sig att stabilisatorerna i ett material kan vara relaterade till vattenabsorptionen efter ClO₂- exponering inom ett material men inte mellan olika material. Vattennabsorptionstoppen ökar med tiden tills den stabiliseras efter 6 dagar (144 timmar), dvs när alla hindrade fenoler har reagerat med klordioxid. Klordioxidkoncentrationen var av mindre betydelse för vattenabsorptionen så länge som ClO₂ var i överskott i förhållande till de hindrade fenolerna. För denna studie var 0,1 g/l tillräckligt. Det befanns också att reaktion med ClO₂ var effektivare i 50 °C än i rumstemperatur. Klordioxidmetoden kan också betraktas som repeterbar inom ett specifikt material, eftersom liknande värden för vattenabsorptionstoppen erhålles vid separata experiment.

Det är svårt att använda HPLC för identifiering av de antioxidanter som analyserades i denna studie. På grund av att Irganox 1010 och Irganox 1076 har liknande molekylstruktur, var det omöjligt att uppnå separation med en isokratisk HPLC, eftersom de påverkas på samma sätt av den fasta och mobila fasen. Det är också ganska svårt att använda FTIR för att analysera vilka stabilisatorer som är närvarande i ett okänt prov på grund av många överlappande toppar. Men med mer erfarenhet är detta dock förmodligen en kraftfull metod. DART-MS-metoden behöver fortfarande mer bearbetning för att kunna användas för bestämning av stabilisatorer i ett okänt polypropenprov.

Det visade sig att skapa en databas för insamling av data och erfarenheter om material i rökgasmiljöer är ganska komplext och det är tveksamt att de data som finns om polymera materialet är lämpligt för att presenteras på det sättet. Mängden tillgänglig data är så spridd och av varierande ursprung och typ att en databas kan vara av ringa värde. Dessutom finns det ett antal frågor som måste utredas. Vad är omfattningen? Vem ska administrera det hela? Vilken typ av data är av intresse att ta del av? Hur ska finansieringen gå till? Finns det några juridiska frågor som måste beaktas för att ta del av resultaten?

NYHETSVÄRDE

Resultaten av undersökningen är viktiga inte bara för användning av PP i rökgasanläggningar, utan för alla miljöer där PP används. Speciellt är de positiva effekterna för de mekaniska och termiska egenskaperna och den kemiska motståndskraften hos polypropylen genom tillsats av kimrök mycket intressanta.

MÅLUPPFYLLELSE

Projektets övergripande mål är att utveckla metoder och metodik för att kunna kvalitetssäkra PP-material för en viss önskad livslängd, och för att kunna bedöma status och kvarvarande livslängd hos PP material i anläggningar för rening och kondensering av rökgaser. Detta kan delas upp i tre mer konkreta delar:

Minska problemen med skevning, deformation och spruckna svetsar till följd av termisk utvidgning/kontraktion med hjälp av addition av fyllmedel till PP-materialet

En viss effekt kan ses på värmeutvidgning efter tillsats av fyllmedel men den var tyvärr inte så stor som förhoppningen varit. Den minskning som ändå uppnåtts skulle antagligen minska problemen med skevning och spruckna svetsar något. Även den ökade styvheten kan bidra till att minska några av de problemen. Det är också viktigt att notera att antalet möjliga polypropen/fyllmedelskombinationer som har undersökts i detta projekt är mycket begränsade jämfört med vad som är möjligt att tillverka. Det kan finnas andra kombinationer med mycket bättre egenskaper. Detta projekt får ses som en startpunkt för vidare utveckling på området.

Minska risken för driftstörningar och kostsamma komponentbyten med hjälp av ökad precision på livslängdsbedömningar av PP-material i rökgasmiljöer.

Ett antal olika tekniker för att bestämma kvarvarande stabilisator har utvärderats. Klordioxidmetoden, som i det tidigare projektet visade stor potential, visade sig ha vissa nackdelar i att kunna ge jämförbara resultat mellan olika typer av steriskt hindrade fenolstabilisatorer. Arbetet har ändå lett till en ökad förståelse för möjligheterna och nackdelarna med de olika tekniker som finns.

Ge ett stöd vid nybyggnation eller utbyte av gamla komponenter genom att redovisa resultaten i en databas där även andra erfarenheter från användandet av plastmaterial i rökgasmiljöer kan samlas.

Det visade sig att skapa en databas för insamling av data och erfarenheter om material i rökgasmiljöer är ganska komplext och det är tveksamt att de data som finns om polymera materialet är lämpligt för att presenteras på det sättet. Mängden tillgänglig data är så spridd och av varierande ursprung och typ att en databas kan vara av ringa värde. Dessutom finns det några frågor om bland annat ägandeskap, underhåll och rättigheter som måste lösas först. Det är antagligen mer relevant att skapa en handbok och skadeatlas för polypropen riktad mot anläggningsägare likande den som Swerea KIMAB just avslutat i Energiforskprojektet M 37775 "Inspektion och OFP av processutrustning i glasfiberarmerad plast (GAP)".

19 Begränsad eldstadskorrosion genom reglerad blyhalt

FÖRFATTARE Rikard Norling, Fredrik Niklasson, Leyla Wickström, Anders Hjörnhede, Annika Talus

RAPPORT 2015:217

ISBN 978-91-7673-217-5

Eldstadskorrosion har blivit ett problem av ökande omfattning under senare år. Detta härrör till stor del från ökad förbränning av mer korrosivt bränsle, t.ex. returträ, vilket pannan normalt inte är avsedd för, och en relativt hög temperatur på vattenväggarna. Korrosionsmekanismerna för denna typ av korrosion är inte helt klarlagda men med stor sannolikhet kan den förhöjda korrosionen kopplas till de relativt sett höga halterna av bly, zink, alkalimetaller, klorider och svavel i bränslet.

I detta arbete har en applikationsnära studie gjorts av hur halten bly i bränslet inverkar på eldstadskorrosion. Det har studerats genom försök i en förbränningsrigg, där halten Pb i bränslet varierats systematiskt i ett bränsle med hög kloridhalt. Försök avseende eldstadskorrosion har gjorts vid två olika materialtemperaturer, 350 °C och 400 °C. Därtill har i begränsad omfattning inverkan på korrosion av överhettare studerats vid 550-600 °C. Varje försök har pågått i 8 h, vilket möjliggör undersökning av de initiala korrosionsangreppen. Detta har gjorts på provringar av legeringarna 15Mo3, 304 och 625 monterade på en kyld sond.

De viktigaste slutsatserna av arbetet är:

Effekten av materialtemperatur på korrosionshastigheten är hög i intervallet 350-400 °C för låglegerat stål 15Mo3. Detta innebär att det för en anläggning kan bli en avsevärt högre korrosionshastighet vid ett ångtryck av ca 140 bar jämfört med ca 100 bar.

Lokalt höga blyhalter, 30-60 vikt.%, har uppmätts nära metallytan på 15Mo3 vid materialtemperaturen 350 °C när blyhalten i bränslet varit 100-1000 mg/kg, vilket kan indikera att korrosionsangreppet med tiden kan bli allvarligt även vid denna temperatur.

De höglegerade materialen 304 och 625 korroderar betydligt långsammare än 15Mo3 vid materialtemperaturen 400 °C. Detta innebär att de har potential att användas som korrosionsskyddande ytbeläggningar på ett effektivt sätt även vid höga blyhalter i bränslet.

Korrosionshastigheten för 15Mo3 vid 400 °C ökar markant, över 60 %, när blyhalten i bränslet höjs från 10 till 100 mg/kg. Vid ytterligare höjning till 1000 mg/kg förblir den däremot konstant, vilket innebär att ett tröskelvärde förekommer vid 100 mg/kg eller strax därunder.

20 Förbättrad livslängdsprediktering genom TMF-provning i korrosiv miljö

FÖRFATTARE Rikard Norling
Henrik Östling
Taina Vuoristo

RAPPORT 2016:248

ISBN 978-91-7673-248-9

Gasturbiner arbetar vid höga temperaturer och med höga varvtal på rotern. Detta medför stora mekaniska påfrestningar på rörliga delar. Dimensionering måste göras med hänsyn till både krypning och utmattning. I samband med start och stopp ändras inte bara den mekaniska lasten utan även temperaturen. Detta medför att dimensioneringen med avseende på utmattning ofta görs utifrån data ifrån provning av termomekanisk utmattning (TMF).

TMF-provning utförs nästan alltid i luft och effekten av miljön i gasturbinen inkluderas därmed inte i provningen. Detta beror på att sådan provning är tekniskt mycket svår att realisera och att utrustning för det inte funnits tillgänglig tidigare. Avsikten med detta arbete har varit att utföra inledande studier av effekten av korrosiv miljö på TMF-provning. För projektet har konstruerats en särskild TMF-rigg med miljökammare och utvecklats en anpassad provningsrutin.

Fyra materialkombinationer har provats. Dessa har utgjorts av två legeringar, en varmvalsad legering Hastelloy X och en gjutlegering IN 792, vilka har provats obelagda. Därtill har Hastelloy X provats med två termiskt sprutade beläggningar av MCrAlY applicerade med HVOF respektive plasmateknik.

För provning i korrosiv miljö användes en gasblandning bestående av N₂-10mol-%O₂-0,5mol-%SO₂. Resultaten från den provningen jämfördes med provning i luft under i övrigt lika provningsförhållanden.

Utifrån erhållna resultat rekommenderas särskilt starkt att utföra TMF-provning i korrosiv miljö som komplement till traditionell TMF-provning för nickelbaserade material om de är gjutlegeringar eller om de är spröda, alternativt om de har en kromhalt klart under 22 vikts-%. Detta gäller oavsett om de är avsedda att användas med en termiskt sprutad beläggning av MCrAlY eller ej.

Följande slutsatser har dragits för de i arbetet gällande provningsförhållandena:

- En användbar metod för studier av effekten av korrosiv miljö på TMF-provning har utvecklats, vilken ger förbättrad livslängdsprediktering.
- TMF-livslängden hos obelagd Hastelloy X minskar med ca 20 % i N₂-10mol-%O₂-0,5mol-%SO₂.
- TMF-livslängden hos Hastelloy X med termiskt sprutad beläggning av MCrAlY minskar med ca 15 % i N₂-10mol-%O₂-0,5mol-%SO₂.

- TMF-livslängden hos obelagd IN 792 kan halveras i N_2 -10mol-% O_2 -0,5mol-% SO_2 .
- Då TMF-livslängden visat sig vara kraftigt miljöberoende för vissa material är det starkt rekommenderat att utföra TMF-provning i korrosiv miljö som komplement till traditionell TMF-provning.
- Den framtagna provningsmetoden kommer, om den används vid utveckling av gasturbiner avsedda för förnybara korrosiva bränslen, starkt bidra till att möjliggöra sänkta koldioxidutsläpp från gasturbiner.

21 Korrosion och beläggningsbildning vid förbränning av bränslet SLF

FÖRFATTARE Annika Stålenheim
Mattias Mattsson
Kenny Johansson

RAPPORT 2015:197

ISBN 978-91-7673-197-0

SLF (Shredder Light Fraction) även kallat "fluff" är den brännbara rest som inte kan återvinnas då metallskrot krossats och separerats i olika fraktioner för återvinning. Det består framförallt av tyg, gummi och plast. En stor andel av metallskrotet kommer ofta från bilar. Ett högt energivärde samt bra betalt för att ta emot avfallet gör SLF till ett mycket attraktivt bränsle ekonomiskt sett. Tidigare erfarenheter visar dock att eldning av SLF kan leda till stora problem med korrosion och igensättningar.

Tidigare sondförsök, genomförda bland annat inom Waste Refinery, har visat på ökad beläggningsbildning och en ökad risk för korrosion med SLF. Ingen entydig förklaring till orsaken till problemen har dock kunnat ges. De sondförsök som har genomförts har varit relativt korta, upp till 24 timmar.

Alkalikloridorsakad (KCl, NaCl) högtemperaturkorrosion anses inte vara relevant vid de låga temperaturer som råder i avfallspannor, men närvaro av Zn- och Pbkomponenter i beläggningarna har påvisats förorsaka ökad korrosion redan vid 300- 400°C. Vid förbränning kan Zn och Pb reagera med Cl och S och bilda klorider och sulfater i rökgaserna. Tungmetallrika (Pb, Zn) klorider och sulfater ökar risken för korrosion, och effekten förstärks ytterligare vid närvaro av smälta.

I detta projekt har tester med olika inblandningsgrad av SLF i bränslemixen genomförts. Både långtidstester för korrosionsmätning och korttidstester för avlagringsanalys har genomförts. Sönderna har exponerats i två olika positioner där man bedömt att risken för korrosion är stor. Dessutom har askprover tagits ut vid försöken och en analys av driftdata har genomförts. Testerna har genomförts i Vattenfalls avfallspanna, Block 5, i Uppsala. I denna panna eldas huvudsakligen en mix av hushållsavfall och industriavfall, men under senare år har man också blandat in en ökande andel SLF, idag ca 9% (vikt). Sondförsöken har genomförts med en väggsond och det är inte säkert att resultaten är helt överförbara på förhållandena vid pannans hängande tuber.

Inblandning av SLF (9% jmf med 0%) gav en kraftig ökning av korrosionstakten, men från en mycket låg nivå. Korrosionshastigheterna i de två undersökta positionerna, med rökgastemperaturer 700°C och 500°C och metalltemperaturen 230°C, var ungefär lika. Med SLF sågs mer Cl och Zn i korrosionsprodukterna på korrosionssonden.

Sammansättning hos avlagringar och flygaska gav ingen tydlig indikation på ökad korrosivitet med ökad inblandning av SLF. En trend kunde dock ses med mer inslag av flygaska i beläggningarna från drag 3 och mer inslag av korrosiva komponenter i Eva 1 med ökad inblandning av SLF. Detta kan tyda på att korrosionsproblem skjuts framåt (i rökgasriktingen) i pannan.

Analysen av driftdata tyder på att, från ett rent processtekniskt perspektiv, kommer en ökad andel SLF inte innebära några signifikanta begränsningar på pannans drift och att eventuella skillnader bör kunna kompenseras med åtgärder som ändrad mängd rökgasrecirkulation, etc.

Förändringarna i beläggningsskemin för korttidsproverna var komplicerade att tolka. Resultaten tyder dock på att man kan öka andelen SLF i Uppsalapannan från dagens nivå på 9% upp till max 29% utan förväntade problem. Det rekommenderas dock starkt då att långtidskorrosionsprovning genomförs vid en ökad inblandning för att ta reda på korrosionshastigheten och beläggningsskemin.

22 Online-analys av heta påslag vid förbränning

FÖRFATTARE Kent Davidsson
Daniel Ryde

RAPPORT 2015:186

ISBN 978-91-7673-186-4

Fasta bränslen innehåller askbildande ämnen som kan orsaka problem i förbränningsanläggningar. När dessa ämnen frigörs vid förbränningen kan de föras av rökgasen i form av gas eller partiklar till värmeväxlarytor såsom vatten- och ångbärande tuber. Där bildas då påslag, som i sig hindrar värmeöverföring och rökgaspassage, men också kan orsaka korrosion. Åtgärder för att minska denna typ av störningar eller åtgärda de problem som uppstår ger upphov till betydande drift- och underhållskostnader. Den metod som oftast använts för att vinna kunskap om de mekanismer som ligger bakom bildningen av påslag är sondmätningar. Det innebär att en yta av relevant material via en tempererad sond exponeras för rökgaserna under en given tid varefter det bildade påslaget analyseras. Resultatet blir kemisk sammansättning på hela påslaget. Metoden lider av en viss trubbighet eftersom resultatet är ett aggregat över exponeringstiden. Om tillväxten av påslaget, eller en substans i det, är icke lineär så framgår inte det. En metod som med tillräcklig tidsupplösning följer påslagets sammansättning är alltså önskvärd. Syftet med föreliggande projekt är att demonstrera sådana mätningar samt föreslå mekanismer för bildning av påslag. En sond har konstruerats för att möjliggöra mätning med röntgenfluorescens (XRF) på påslag som ansamlats på en tempererad påslagsyta (300 och 500 °C). Resultaten består av koncentrationer av ett antal element ca var 10-15 min över 6-8 timmars exponering av ytan. De viktigaste elementen som följdes var K, Ca, Cl, S, Pb och Zn. Metoden fungerar såtillvida att själva mätningen inte menligt påverkade påslagets bildning och att tidsupplösningen blev tillräckligt hög. Eftersom påslagen tillväxer över timmar och dagar är upplösningen tillräckligt för att metoden skall kunna kallas online. Alla ovan nämnda element tillväxer i påslaget från början av exponeringen, men resultaten visar att kalium och klor, i de fall det finns närvarande, kan bilda en klabbig yta som partiklar med t.ex. kalcium sedan kan fastna i. Att metoden är att betrakta som en onlinemetod illustreras av att den kunde visa att klor kan avlägsnas ur påslaget genom en temperaturhöjning; det hade inte kunnat observeras med en sondmätning eller om tidsupplösningen varit för låg. Det är viktigt att XRF-signalen tolkas i sitt sammanhang så att ovidkommande grundämnen räknas bort; i detta fall rör det sig främst om dem som finns i stålet som påslagsytan är gjort av.

23 Gjuterisand i fluidiserade bäddpannor

FÖRFATTARE Fredrik Niklasson
Leyla Wickström
Peter Nayström
Rikard Norling

RAPPORT 2015:198

ISBN 978-91-7673-198-7

Inom gjuteriverksamhet används sand för att framställa formar och kärnor. Denna s.k. gjuterisand består av sandpartiklar (kvarts och fältspat) som täckts med bentonitlera och malt kol. Gjuterisanden återanvänds vanligtvis flera gånger i processen, men en delmängd går inte att återanvända och lämnar istället gjuteriet som ett avfall. Totalt rör det sig om en mängd av ca 200 kton per år. Att återanvända begagnad gjuterisand som bäddmaterial i FB-pannor skulle medföra en resursbesparing. Det är dock inte uppenbart hur driften av en FB-panna påverkas av att byta ut färsk natursand (som vanligtvis används) mot gjuterisand.

Syftet med detta projekt har varit att experimentellt utreda eventuella konsekvenser för panndriften av att använda gjuterisand i FB-pannor. Inom projektet har flisat returträ av engelskt ursprung eldats i olika sandbäddar i labbskala under det att beläggningsprover samlats in. Efter avslutade förbränningsförsök har beläggningsringar och bäddmaterial analyserats.

Resultaten som erhållits tyder på att gjuterisand kan reducera överhettarkorrosion i viss mån, medan bäddens sintringstemperatur tenderar att sjunka. Efter förbränningstesterna uppvisade alla bäddprover en antydning till agglomerering, men natursanden uppvisade en något lägre andel agglomererade korn än gjuterisanderna. Vid försöken i denna rapport var förhållandet mellan mängden bäddmaterial och bränsle högre än vad som kan förväntas i en storskalig anläggning, vilket betyder att skillnaderna mellan olika bäddmaterial borde bli mindre i storskaliga anläggningar.

Slutsatsen är att de flesta av de provade gjuterisanderna förefaller fungera bra som bäddmaterial, möjligtvis undantaget en furusand som uppvisade både relativt låg sintringstemperatur och ökad beläggingsbildning. Resultaten som erhållits bör dock inte utan eftertanke generaliseras till andra bränslen än det som använts under försöken.

24 Effect of stress relaxation on creep of steam pipe systems

FÖRFATTARE Rikard Norling, Robin Sollander, Jan Storesund

RAPPORT 2016:237

ISBN 978-91-7673-237-3

Kraftvärmeverk med ångturbin består av en panna med ett ång-vatten-system för värme och elproduktion. För att uppnå hög elverkningsgrad för anläggningen krävs hög ångtemperatur och högt ångtryck. Det innebär att krypning blir livslängdsbegränsande för de delar som utsätts för de högsta temperaturerna. Noggrann bestämning av återstående livslängd kräver simulering av krypbeteendet i ångledningssystemet och det bör företrädesvis inkludera hela systemet. Det har visats tidigare att spänningsrelaxation är viktigt att beakta vid simuleringen.

I detta arbete har spänningsrelaxationsprovning utförts vid tre olika töjningsnivåer för två vanliga rörmaterial, P22 med alternativ beteckning 10CrMo9-10 tidigare även benämnt SS 2218 (2.25Cr-1Mo) och P91 med alternativ beteckning X10CrMoVNb9-1 (9Cr-1Mo). Det har även utförts sekventiell provning där material genomgått spänningsrelaxation vid tre olika töjningsnivåer på ett sätt som i någon mening efterliknar förhållandena vid tre på varandra följande uppstartsperioder för en riktig panna. För att jämföra resultaten och demonstrera betydelsen av de erhållna materialdatana och valet av lämplig materialmodell, så genomfördes analyser med finita elementmetoden (FEM) av de utförda sekventiella försöken.

Följande slutsatser drogs:

- Relaxationsbeteendet hos P22 är oberoende av den initial plastiska töjningen, eftersom det inte föreligger någon signifikant effekt av hårdnande eller mjuknande.
- Nortonmodellen är otillräcklig för att simulera tidiga förlopp hos relaxationen, då dessa inkluderar effekten av primärt kryp.
- Modellen "combined time hardening" medger rimligt noggrann modellering av resulterande spänning under relaxation av material som inte tidigare utsatts för spänningsrelaxation.
- Modellen "combined time hardening" medger rimligt noggrann modellering av resulterande spänning under relaxation av P22 material även om det tidigare utsatts för spänningsrelaxation.
- För noggrann modellering av spänningsrelaxation av P91 material utsatt för tidigare cykler av spänningsrelaxation, så skulle det krävas att en hårdnandemodell inkluderas.

Det observerade hårdnandet hos P91 är skäl för oro, eftersom det medför långsammare spänningsrelaxation och därmed förhöjda spänningar under signifikanta driftsperioder, vilket är troligt kommer att ge lokalt reducerad kryplivslängd.

25 Korrosionsreducerande additivs inverkan på syradaggpunkten och lågtemperaturkorrosion

FÖRFATTARE Anders Hjörnhede
Daniel Ryde

RAPPORT 2015:215

ISBN 978-91-7673-215-1

Korrosionsangrepp på ekonomiser, luftförvärmare och andra komponenter med ytor med relativt låg temperatur är relativt vanligt förekommande i bio- och avfallseldade pannor. Orsakerna till detta är flera men bl.a. underskrids syradaggpunkten varvid korrosiv gas utkondenseras och det kan dessutom bildas delikvescenta salter som också ger upphov till korrosion. I en helt ren rökgas, som inte innehåller några föroreningar beror daggpunkten enbart på vattenånghalten. Ju högre fukthalt i rökgasen, desto högre blir daggpunktstemperaturen för vatten. Vid en fukthalt i bränslet på 50% ligger daggpunkten i området 60-70°C. Bränsle som innehåller svavel kan bilda svavelsyra. Svavelsyra och saltsyra, och även vissa salter, t.ex. ammoniumsulfat höjer daggpunkten och gör att rökgaserna kondenserar vid relativt höga temperaturer. En följd härav är att man ofta håller högre materialtemperaturer än nödvändigt för att undvika korrosion i luftförvärmare och ekonomisers, en åtgärd som minskar anläggningens energieffektivitet.

Många studier om daggpunktskorrosion har berört koleldade pannor eftersom korrosionshastigheten ökar kraftigt då daggpunkten underskrids i dessa pannor. Men allteftersom tillsatser av svavel till bränsle, i eldstad eller nedströms denna blir vanligare i biobränsle- och avfallseldade pannor, i kombination med bildande av delikvescenta salter har problemet också dykt upp i dessa sammanhang.

Målet för denna studie är att experimentellt bestämma i vilken omfattning dosering av svavel och svavelföreningar till en fluidbäddtestrigg påverkar lågtemperaturkorrosion vid tillsats av olika halter av svavelinnehållande additiv.

Försöken genomfördes i en fluidbäddtestrigg, med tillsats av svavel- och ammoniumsulfatadditiv till två bränsletyper, träflis och RT-flis.

Resultaten visar att både den lägsta temperatur då korrosionsaktivitet kan detekteras och syradaggpunkt kan uppmätas stiger signifikant vid inblandning av additiv. Det är således viktigt att kunna mäta lågtemperaturkorrosionshastigheter vid additivinblandning. Korrosionshastigheten är dock mycket låg vid denna temperatur.

Korrosionshastigheter och syradaggpunkter har blivit uppmätta vid de olika försöken och vid dosering av additiv, t.ex. 1% svavel, bör temperaturen på ytorna inte understiga 140°C. Viss marginal är att rekommendera.

Det bör noteras att om endast de vanligen använda metoderna för att uppskatta lågtemperaturkorrosion, mätning med konventionell korrosionssond och uppmätning av syradaggpunkt, använts hade inte studien gett något svar på i vilken grad tillsättande av additiv höjer den temperatur lågtemperaturkorrosionen initieras.

26 Lifetime assessment of high temperature piping

FÖRFATTARE Jan Storesund
Kristin Steingrimsdottir
Juhani Rantala
Robin Sollander
Zhouwang Chen
Tobias Bolinder

RAPPORT 2015:187

ISBN 978-91-7673-187-1

Högtrycksångledningar hos kraftvärmeanläggningar har i regel drifttemperaturer som medför att livslängden begränsas av krypning. Erfarenheten har visat att det vid tidpunkten för traditionellt dimensionerad livslängd, 100 000 timmar, är vanligt att krypskador i form av krypkaviteter har börjat uppstå lokalt i rörsystemen. I vissa fall finns det redan krypsprickor medan det i andra anläggningar inte observeras skador. Genom replikprovning kan eventuella krypskador identifieras på ett tidigt stadium och genom återkommande provning kan man säkert och med framförhållning byta ut komponenter i systemet när skadorna börjar nå oacceptabla nivåer.

Vid replikprovning är det små ytor som undersöks och en strategi för att fånga upp de största krypskadorna i ett ångsystem är avgörande. En metod är att prova överallt där det erfarenhetsmässigt kan finnas krypskador. Det kan dock medföra mycket omfattande provning. Genom att göra spänningsanalyser av rörsystemet för att identifiera de högst påkända områdena i systemet kan antalet provpositioner reduceras.

Elastiska analyser av rörsystem görs rutinmässigt för att kontrollera att spänningsnivåerna är inom enligt normer acceptabla gränser. Resultaten har också använts för att identifiera provpositioner. Modelleringsarbetet går snabbt men analyserna kan inte beakta krypning. För att kunna göra det har det behövts mycket tidskrävande modellering och därför finns det mycket begränsade erfarenheter av det. I föreliggande projekt har effekterna av krypning studerats i detalj i syfte att kunna identifiera kritiska positioner för oförstörande provning och för att kunna beräkna återstående livslängd.

Ett skript har utvecklats och verifierats som kan översätta en modell för elastisk analys i programmet Caepipe, till programmet Abaqus för krypanalys. Med denna modell har det visats att starter och stopp påverkar fördelning och nivåer av kryptöjningar i systemet. De högsta töjningarna som utvecklas under drift blev med tiden både högre och vid andra positioner jämfört med vad den elastiska analysen visade.

Vidare har T-stycken modellerats så att randvillkoren blir riktiga för att kunna överlagra systemspänningar från systemanalysen till den spänningsfördelning som råder p.g.a. det inre övertrycket. Krypanalyser har genomförts som visar lokalt stora töjningar som överensstämmer med observerade krypskador. I ett sista steg har även en svets modellerats i ett T-stycke för att kunna ta hänsyn till att krypegenskaperna i svetsgods och HAZ skiljer sig från grundmaterialet.

Krypdata för simuleringarna har tagits fram genom intryckskrypprovning. Provningen kräver endast små materialvolymen och en ny metod för att prova HAZ har utvecklats där krypegenskaperna från grundmaterial, genom HAZ och in i svetsgods har kartlagts stegvis men 0,5 mm avstånd mellan varje provning. Kryphastigheterna i HAZ och svetsgods blev 2,6 högre respektive 2,0 gånger lägre än i grundmaterialet. Med dessa relativa skillnader simulerades krypförloppet i ett modellerat T-stycke som hade bytts ut från huvudångledningen i Heleneholmsverket. Analysresultaten visade töjningsfördelningar som hade godtagbar överensstämmelse med de krypskador som observerades vid metallografiska undersökningar av T-stycket.

Sammanfattningsvis har projektet, genom krypanalys och intryckskrypprovning, resulterat i ett genombrott för bedömning av kryplivslängd hos ångledningssystem.

27 Undersökning av möjligheter för svenska kraftvärmeverk att leverera primär frekvensreglering, FCR-N

FÖRFATTARE Michael Eng
Bengt Johansson
Peter Dahlström

RAPPORT 2014:1261 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

I ett elnät med ökande behov av att kunna balansera den varierande produktionen från främst vindkraft är det intressant att undersöka om kraftvärmeverk kan användas för att frekvensreglera elnätet. I ett elnät måste det ständigt råda effektbalans, d.v.s. den producerade och konsumerade effekten skall vara lika stora. Uppstår en obalans kommer frekvensen att driva iväg ifrån sitt nominella värde på 50 Hz vilket kan leda till att utrustning i kraftsystemet tar skada.

Målet med denna studie är att undersöka både tekniska och ekonomiska möjligheter för svenska kraftvärmeverk att leverera reglerkrafttjänster i form av primär frekvensreglering, s.k. FCR-N. Härigenom ges större möjligheter att kunna balansera framtidens varierande elproduktion som följer med ökad andel vindkraft. Studien inriktar sig på befintlig utformning av kraftvärmeverk men blickar samtidigt framåt genom att undersöka krav som förväntas komma inom en snar framtid. Kraven tas fram av ENTSO-E, en organisation av bestående av europeiska nätverksoperatörer.

Målgruppen för studien är i första hand anläggningsägare som överväger möjligheten att erbjuda FCR-N eller som kan komma att påverkas av de nya kraven från ENTSO-E.

Möjlighet till deltagande i primär frekvensreglering, FCR-N, utreds genom studie av fem olika typer av kraftvärmeverk: gaskombikraftverk, bioeldat kraftvärmeverk, avfallseldat kraftvärmeverk, pappers- och massabruk samt kraftvärmeverk eldat med industrigas. I studien bedöms förutsättningarna för deltagande för respektive varje kraftvärmeverk, ur både tekniskt och ekonomiskt perspektiv.

I studien konstateras att samtliga studerade anläggningar tekniskt sett kan uppfylla kraven för att erbjuda FCR-N. De har både de parametrar och reglerinställningar som krävs men även en ångprocess som kan möta turbinens behov. Avgörande är dock ekonomin för de olika tekniska lösningarna. Vid behov av pannan i delast kan FCR-N erbjudas till en minimal kostnad: endast ökat slitage i, primärt turbin och panna samt tillfälliga verkningsgradsförluster i samband med uppreglning. Lösningen kräver balans mellan pannas pålastningshastighet och möjlighet att tillfälligt minska ångförbrukning i andra delar av anläggningen (t.ex. fjärrvärmeproduktion). Av de studerade

anläggningarna har gaskombikraftverket Rya, biobränsleanläggning Aros samt Lulekrafts kraftvärmeverk eldat med industrigas dessa förutsättningar, åtminstone delar av året.

Vissa perioder, med hög ersättning för FCR-N jämfört med spotpriset på el, finns även lönsamhet att minska turbinlast för att skapa reglerutrymme och erbjuda FCR-N. Även massabruket Mönsterås har goda förutsättningar men erfordrar installation av ångackumulator för en ekonomiskt hållbar hantering av snabba ångbehov. Avfallsanläggningen Sävenäs saknar förutsättningar för deltagande då maximal förbränning av avfall prioriteras.

Nyckelord: Kraftvärmeverk, pappers- och massabruk, reglerkraft, frekvensreglering, FCR-N

28 Tyst kunskap och kompetens - Utveckling av metod för att överföra erfarenheter från processtyrning

FÖRFATTARE Anna-Lisa Osvalder

RAPPORT 2015:199

ISBN 978-91-7673-199-4

En organisation är beroende av kompetensen hos sina anställda för att fungera väl. Stor risk finns att viktig kunskap försvinner när erfarna medarbetare lämnar organisationen. Inom processindustri finns mycket värdefull kunskap lagrad hos erfarna operatörer och i skiftlagen om hur processen ska övervakas och styras. Deras kunskap består både av explicit (uttalad) kunskap med framför allt av implicit (tyst) kunskap som har utvecklats över lång tid genom erfarenhet och praktik. Tyst kunskap är outtalad till sin karaktär och inte lätt åtkomlig för verbalisering i tal eller skrift. Syftet med detta projekt var att bidra till ökad kunskap om hur effektivare och säkrare drift kan uppnås i dagens och framtidens processanläggningar genom att tillvarata den tysta kunskap och kompetens som erfarna processoperatörer använder för att styra processen på ett säkert och effektivt sätt. Målet med projektet var att föreslå en metod för att hitta tyst kunskap och kompetens samt ge förslag på hur denna kunskap ska kunna överföras till organisationen vid vidareutbildning av operatörer samt vid introduktion av nyanställda. Omfattande litteraturstudier har genomförts, dels kring vad processtyrning går ut på och vilka krav detta ställer på operatörerna, dels vad kunskap och kompetens innebär samt vilka metoder som används för kompetensöverföring inom olika branscher. Vidare har en empirisk fallstudie genomförts på Göteborgs Energi som ansvarar för drift och övervakning av fjärrvärmesystemet i Göteborg. Resultatet visar att det är få organisationer som använder formaliserade metoder för att kunskapsöverföra. Det är sällsynt med utvärderingar om kompetensöverföring skett i en organisation och vilken nytta detta i så fall medfört. För processindustri är det endast kärnkraftsbranschen som uttalat har infört kompetensöverföring som en del i arbetsprocessen. De överföringsmetoder som främst används inom processindustri för kompetensuppbyggnad är lärlingskap och teamwork i skiftlag, vilket innebär att det tar lång tid att utveckla expertis. Detta medför att tyst kunskap överförs till tyst kunskap genom socialisering, utan att den dokumenteras och blir tillgänglig för alla. Vid kompetensöverföring för processtyrning är det viktigt att använda metoder som kan fånga operatörens mentala modell och situationsmedvetenhet över hur det komplexa dynamiska systemet fungerar. Centralt är att hitta de ledtrådar och mönster (vilket stöd) som operatörerna använder för att tolka processens status vid olika driftlägen och för att predicera om framtiden. Fyra förutsättningar behöver vara uppfyllda för att kunskapsöverföring ska kunna ske optimalt: Intresse och resurser från organisationen, möjlighet att genomföra arbetet i kontrollrums-liknade miljö, tillgång till sparad data från informations- och

beslutsstöd vid driftsstörningar samt motiverad erfaren driftspersonal med verbala förmågor och intresse av att dela med sig av sin kunskap till andra. De metoder som rekommenderas för att hitta tyst kunskap är observationer i kontrollrummet, tänka-högt metodik under arbetet samt scenarioanalys av driftstörningsfall. För att överföra tyst kunskap rekommenderas scenarioanalys av driftstörningar i grupp eller via rollspel lärare/elev. Spontana metoder för kunskapsöverföring som inte kräver förberedelse är lärlingskap, arbetsrotation i skiftlag och sociala aktiviteter. När det gäller metoder för dokumentation av explicit kunskap föreslås utveckling av checklistor, registrering av tumregler och strategier för problemlösning, samt utveckling av sökbart incident-rapporteringssystem med lyckade lösningsförslag för händelser. För att identifiera styrkor och svagheter med de föreslagna metoderna för kunskapsöverföring föreslås att dessa först testas med operatörer och skiftlag i den aktuella processindustrimiljön. Därefter kan en företagsspecifik metodbeskrivning utvecklas och dokumenteras i en handbok. Genom detta ges förutsättningar för att kunskapsöverföring kan bli en naturlig del av en långsiktig verksamhetsutveckling inom organisationen.

29 Beslutsstöd för produktionsplanering av fjärrvärme med hjälp av olinjär programmering

FÖRFATTARE Per-Ola Larsson, Håkan Runvik, Stéphane Velut
Sara Modarres Razavi, Andreas Nilsson, Markus Bohlin, Jonas Funkquist

RAPPORT 2014:1262 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Optimeringsproblemet för den kortsiktiga produktionsplaneringen i ett fjärrvärmenät löses i två steg genom integrering av fysikaliska modeller och standardmetoden. I det första optimeringssteget behandlas start/stop problemet (SSP), där de diskreta variablerna bestäms med hjälp av diskretidsmodeller och standardlösare för linjärprogrammering. I det andra steget, det optimala lastfördelningsproblemet (LFP), används dynamisk optimering med fysikaliska olinjära modeller där statussignalerna från steg ett ingår. Vid alla optimeringar är målet att maximera den ekonomiska vinsten, genom att el-, värme- och bränslepriser tas i beaktande, liksom kostnader för underhåll, uppstart och nedstängning. Med hjälp av den fysikaliska modelleringen i LFP är det möjligt att optimera effektlöden och inkludera bivillkor för dessa, liksom för andra viktiga variabler såsom framledningstemperatur, massflöden, pumphastigheter och kondensortryck. Detta är inte möjligt med dagens standardmetoder.

Modelleringen har fokuserat på distribuerad konsumtion och produktion. Målet har varit att representera de viktigaste enheterna, samt distributionsnätet i Uppsala. Distributionen leder till att det totala värmebehovet är fördelat och fördröjningstiden från produktion till kunder är kundspecifik. Fjärrvärmenätet har modellerats med hjälp av fysikaliska rör, med massflödesberoende tidsfördröjning och temperaturberoende (vatten- och utomhustemperatur) värmeförluster. Jämförelser mellan optimeringar med och utan den distribuerade nätmodellen har genomförts och resultaten visar att noggrann modellering av nätet påverkar produktionsplaneringen genom att dyra produktionstoppar kan undvikas och dyra uppstarter av produktionsenheter kan fördröjas, produktionen kompenseras för värmeförluster och fördröjningstider och nätet kan användas för värmelagring (ackumulation). Optimeringarna resulterar också i att framledningstemperaturen och massflödet minimeras respektive maximeras och att det är balans mellan värmeproduktion och värmekonsumtion.

Den fysikaliska modelleringen och dynamiska optimeringstekniken ger en flexibel metod för att formulera optimeringsproblemet och inkludera bivillkor på fysikaliskt viktiga variabler såsom framledningstemperatur och -massflöde, tryck, värmelaster och uppstarts-/nedstängningsprofiler för produktionsenheter.

Två exempel med stokastisk programmering har visat att man kan uppnå en större förväntad vinst genom att beakta sannolikheten för olika värmebehovsprognoser.

30 Säkerhet och kvalitet i automationsprojekt

FÖRFATTARE Johanna Holm
Olle Palmqvist

RAPPORT 2015:165

ISBN 978-91-7673-165-9

Utvecklingen av automationstekniken och den ökade automationsgraden i anläggningarna har lett till att automationssystemen och deras tillämpningar har blivit mer komplexa. För att kunna konstruera, driva, underhålla och utveckla systemen ställs därför större krav på ett strukturerat arbetssätt. Det är därför av intresse att undersöka hur man effektivt kan arbeta med säkerhet och kvalitet i ett livscykelperspektiv samt om möjligt ta tillvara utveckling av metoder och verktyg från andra branscher.

I detta projekt har det övergripande målet varit att bidra till att värme- och kraftvärmebranschen får ökade kunskaper och förutsättningar för att effektivt kunna säkerställa erforderlig kvalitet och säkerhet hos program- och maskinvara i automationssystem i ett livscykelperspektiv. I projektet har en kvalitetsguide för automation utvecklats där grunden är en metodik för säkerhetsdemonstration som använts framgångsrikt i kärnkraftsbranschen. Utifrån en serie intervjuer med personer med erfarenhet från automationsprojekt i värme- och kraftvärmebranschen samt utifrån genomförande av tre workshoppar där första versionen av guiden presenterats och förankrats med deltagarna, har metodiken förenklats, utvecklats och anpassats för behoven i branschen. Ett presentationsmaterial och en notistext har också tagits fram i projektet.

Guiden är framtagen för automationsprojekt i framförallt värme- och kraftvärmebranschen. Den bedöms även vara tillämplig i övrig energiindustri och i processindustrin, såsom exempelvis i pappers- & massabranschen och i stålbranschen. Metodiken är i grunden generell och kan anpassas till alla typer och storlekar av projekt. Guidens syfte är att öka organisationers förmåga att säkerställa kvalitet i automationsprojekt. Målgruppen är därför alla intressenter i ett automationsprojekt och framförallt huvudintressenterna som är beställare/anläggningsägare, projektledare, automationsingenjör och leverantör.

Resultatet från genomförda workshoppar har visat att guiden kan bidra till att branschen får ökade kunskaper och förutsättningar för att effektivt säkerställa kvalitet och säkerhet i automationssystem i ett livscykelperspektiv och att den möter många av de behov som finns i branschen. Genom att använda guiden bedöms beställare och projekt kunna:

- få stöd för att övertyga sig om att anläggningen är kvalitetssäkrad under och efter implementeringen av ett automationsprojekt
- minska kostnader i projektet och i systemets livscykel
- minimera projektrisker avseende tid, ekonomi och kvalitet samt få stöd för milstolpebeslut

Metodiken kan tillämpas i sin helhet i ett projekt eller i företagets processer, men kan också tillämpas i valda delar. Rekommendationen till intressenterna i ett automationsprojekt är att identifiera vilka delar som är mest relevanta för befintliga förutsättningar och behov och utifrån det börja tillämpa metodiken.

Nyckelord: Automation, Konstruktion, Kvalitet, Livscykel, Projekt, Projektrisker, System, Säkerhet

31 Primära fel i larmskurar

FÖRFATTARE Jan Eric Larsson

RAPPORT 2015:176

ISBN 978-91-7673-176-5

Under 2014-2015 genomförde GoalArt ett projekt där man installerade och utvärderade en GoalArt Diagnostic Station (GDS) vid ett kraftverk i Sverige. Utvärderingen baserades på ett år av sparade anläggningsdata och visar att en kombination av dynamisk larmundertryckning och rotfelsanalys av larmkaskader kan reducera antalet larm till en grad som inte kan uppnås med enbart larmsanering.

Händelö är ett konventionellt värmekraftverk med en kapacitet att generera 400 MW fjärrvärme och 130 MW elektrisk energi, beläget i Norrköping, se Figur 1. Bränslet är huvudsakligen brännbart avfall. Anläggningen har fem pannor och två generatorer.



Figur 1. Händelöverket, Norrköping

Projektet inriktades på en av de fem pannorna, Panna 14. Denna panna har 3 400 larm, vilka alla lades in i en GDS-modell. Modelleringsarbetet tog cirka 200 timmar, och hela projektet omfattade cirka 1 000 timmar, där de flesta användes för testning och utvärdering.

GDS-systemet använder fyra olika sätt för att reducera antalet larm som visas för operatörerna.

- Vissa larm, till exempel, hög och hög-hög, grupperas till ett larm i GDS.
- Tjattrande larm (larm som kommer och går upprepade gånger), upptäcks dynamiskt och flyttas till en annan larmlista, så kallad shelving, (de "läggs på hyllan").
- Långliggande larm upptäcks dynamiskt och flyttas till shelvinglistan.
- Larmkaskader analyseras i realtid med hjälp av en algoritm för rotfelsanalys, vilket reducerar även stora larmskurar till enstaka primära rotfel.

Tillsammans reducerar dessa metoder mängden larm ner till ett minimalt antal larm, vilket gör att anläggningen kan uppfylla de mål som rekommenderas i standarden från EEMUA.

Den ursprungliga larmlistan i Figur 2, visar en liten del av den larmskur som drabbade Panna 14 den 13 augusti 2014. (Färgerna indikerar larmprioritet.)

Datum och tid	P	Larmtag	Beskrivning	Värde	Prioritet	Grupp	Dolt
14-08-13 10:06:12		14_Q16_3_1_8_FEL	Fel, Profibus komm. 8, 14228P002	LARM	Hög		U
14-08-13 10:06:12		14_Q15_A008_SFEL	Profibusfel, Sotblås, ÖH o Konv.del	OK	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_CS	Stv-Fel, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_SB	S-Brytare, Processkylbärare, Cirkp. 3, P1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_CS	Stv-Fel, Processkylbärare, Cirkp. 1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärare, Cirkp. 3	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_ACOF	Pos-Fel, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_SB	S-Brytare, Processkylbärare, Cirkp. 1, P1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_SB	S-Brytare, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärare, Cirkp. 1	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_CS	Stv-Fel, Processkylbärare, Cirkp. 3	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_Q50_CURHA	Överström, Elsprinklerpump	OK	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_ACOF	Pos-Fel, Mättad Ångat Ångluta	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_Q16_3_1_7_FEL	Fel, Profibus komm. 7, 14228P001	LARM	Hög		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_CS	STV-fel Kont.bottenblås, Avst.ventil	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_CS	Stv-Fel, Mättad Ångat Ångluta	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_ACOF	Kont.bottenblås, Avst.ventil	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_419_P160_CS	Stv-Fel, Turbin Hjälp Oljepump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P003_SB	S-Brytare, Miniflödespump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V056_ACOF	Pos-Fel, StartVentil	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P002_ACOF	Pos-Fel, Pression Pump 2	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_424_A001_SB	S-Brytare, Omrörare	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_CS	Stv-Fel, Backspolningspump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_SB	S-Brytare, Backspolningspump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_ACOF	Pos-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_CS	Stv-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_418_P001_CS	Stv-Fel, Kondensatpump 1	LARM	Medium		U

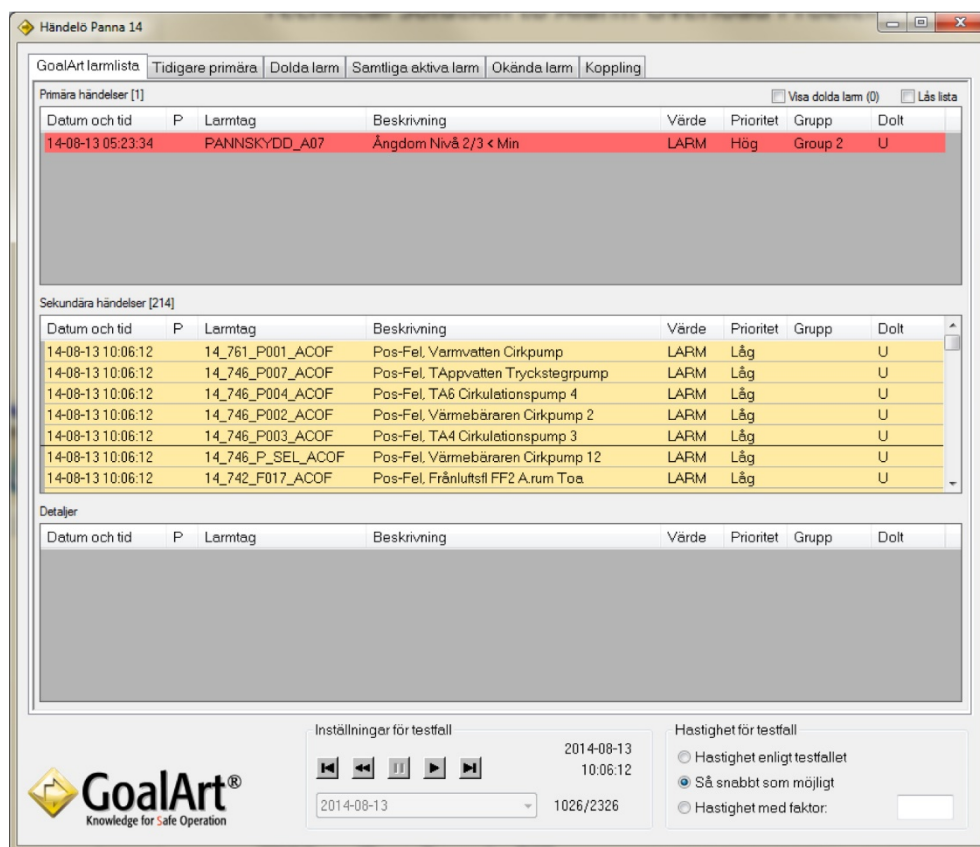
Figur 2. Den ursprungliga larmlistan från den 13 augusti 2014

I GDS-systemets larmlista reduceras kaskaden på 601 larm till ett enda rotfel, vilket syns i den översta lista i Figur 3. Det primära felet var en tubfläkning i ångsystemet för Panna 14.

I dokumentet EEMUA 191 finns en klassificering av larmbelastningen, som använder tre nyckeltal:

- Genomsnittligt antal larm per timme
- Maximalt antal larm under de värsta 10 minuterna
- Procentandelen timmar med fler än 30 larm

Varje operatör bör inte få fler än 6 larm per timme, inte fler än 60 larm per timme under den värsta tiominutersperioden, och inte ha mer än 1 % timmar med fler än 30 larm.



Figur 3. GoalArts larmlista från den 13 augusti 2014.

EEMUA tillhandahåller även en klassifikationstabell, se Figur 4, vilken rankar en larmsituation baserat på nyckeltalen. Den ideala nivån kallas prediktiv. Panna 14 hamnar på den stabila nivån, men går ibland över i reaktiv eller överbelastad. Eftersom samma kontrollrum hanterar alla fem pannor och båda generatorerna, är den allmänna larmsituationen ofta överbelastad.

Per Hour	Max/Hour	Percent	Classification
> 600	> 6 000	> 50 %	Overloaded
> 60	> 6 000	> 25 %	Reactive
> 60	> 600	> 5 %	Stable
> 60	> 60	> 1 %	Robust
< 6	< 60	< 1 %	Predictive

Figur 4. Klassificering av larmsystem.

Larmsanering innebär att man ställer in larmsystemet för att undvika onödiga larm, genom att sätta värden på prioriteter, larmgränser, hysteres, etc., till goda statistiska värden.

Emellertid är det oftast omöjligt att nå en prediktiv nivå enbart med hjälp av larmsanering. Det huvudsakliga hindret är larmkaskader, alltså långa kedjor av konsekvenslarm, som uppstår i komplexa felsituationer. Det är också vanligt att varierande driftlägen gör att larm börjar tjattra dynamiskt, i vissa situationer.

GDS-systemet använder en unik algoritm för att genomföra en rotfelsanalys online i realtid. Stora larmkaskader kan på så vis brytas ned till enstaka rotfel, ("de verkliga felen").

Projektet använde historiska data from december 2013 till november 2014. Under denna period valdes de 18 dagar som hade de största larmkaskaderna ut. GDS-systemet analyserade larmdata och reducerade samtliga kaskader till ett fåtal egentliga fel, (oftast ett enda; se kolumnen "Primary" i Figur 5). Det genomsnittliga resultatet för de 18 värsta dagarna var att 98 % av larmen togs bort.

Date	Day Total	Cascade	Primary	Reduction
2014-08-13	757	601	1	99,83%
2014-08-05	448	265	1	99,62%
2014-11-09	332	197	4	97,97%
2014-06-11	282	193	1	99,48%
2014-08-16	230	135	1	99,26%
2014-03-11	283	133	1	99,25%
2014-07-25	207	110	1	99,09%
2014-11-11	459	91	1	98,90%
2014-07-02	229	82	2	97,56%
2014-05-29	211	56	1	98,21%
2014-02-26	228	54	1	98,15%
2014-11-07	197	44	2	95,45%
2014-05-02	347	43	1	97,67%
2014-03-09	204	43	1	97,67%
2014-04-25	288	35	2	94,29%
2014-11-18	208	34	1	97,06%
2014-11-02	273	25	1	96,00%
2014-01-27	216	22	1	95,45%
Average	300	120	1,33	97,83%

Figur 5. Larmreduceringen för de 18 värsta larmkaskaderna.

Totalt finns det över 100 dagar i testperioden med larmkaskader som omfattar mer än 100 olika larm. Detta visar att det är av avgörande vikt att hantera problemet med larmkaskader, om man ska kunna nå ner till acceptabla larmfrekvenser.

Month	Average	Max	Hours	Alarms	Cons	Red
2013 dec	14	780	8%	9 853	2 087	58%
2014 jan	182	15 150	17%	130 772	12 598	75%
2014 feb	24	528	23%	17 186	2 535	71%
2014 mar	28	792	26%	20 179	2 725	64%
2014 apr	32	630	28%	22 833	2 854	57%
2014 maj	19	654	16%	13 990	2 707	81%
2014 jun	15	486	11%	10 586	2 391	72%
2014 jul	13	558	12%	9 538	2 570	89%
2014 aug	23	2 214	17%	14 467	7 589	96%
2014 sep	17	600	18%	12 337	2 213	86%
2014 okt	14	198	10%	10 424	2 324	70%
2014 nov	21	1 416	20%	11 807	2 518	84%
Per Year	33	2 001	17%	23 664	3 759	75%
Per Day	33	2 001	17%	65	10	75%

Figur 6. Nyckeltal och larmreducering per månad.

Panna 14 har också problem med tjatrande och långliggande larm. Under testperioden var det 43 larm som någon gång tjatrade mer än 1 000 gånger per dag. Ett enda kommunikationslarm kom och gick 4 086 gånger den 15 augusti 2014. Under perioden fanns det över 100 larm som var aktiva längre än 192 timmar.

När GDS-systemet kör, används en kombination av att lägga tjatrande och långliggande larm "på hyllan," tillsammans med rotfelsanalys av larmkaskader. Under utvärderingsperioden var den genomsnittliga larmreduktionen 75 %, (se kolumnen "Red" i Figur 6). Under dagar med larmkaskader går reduktionen upp till 98-99 %. Reduktionen är som högst i de svåraste situationerna, när den behövs som bäst.

Man bör notera att Panna 14 inte har genomgått någon statisk larmsanering. GDSsystemet ger ett klart bättre resultat, med en automatisk algoritm.

Det tog cirka 200 timmar att modellera 3 400 larm. En larmsanering skulle ta betydligt mer tid i anspråk, från 500 till 1 000 timmar, och skulle, beroende på kaskader, inte kunna leda till ett jämförbart resultat. Den genomsnittliga larmreduktionen över testperioden var 75 % och under larmkaskader går den upp till över 98 %.

Projektet sponsrades av Energiforsk (40 %), Energimyndigheten (35 %), E.ON. Värme Syd (5 %) och GoalArt (20 %), och utfördes av GoalArt med hjälp av E.ON. vid Händelöverket i Norrköping.

32 Improved superheater control with feedforward from physics-based process models

FÖRFATTARE Martin Råberg
Håkan Runvik
Majed Sammak
Ola Slätteke
Stéphane Velut

RAPPORT 2015:220

ISBN 978-91-7673-220-5

Framkoppling är en av de mest fundamentala reglerstrukturerna inom reglertekniken. Alla som har läst en grundkurs i reglerteknik på universitetsnivå bör ha stött på begreppet framkoppling. Framkoppling används främst för att hantera störningar i processen och traditionellt så består den i enklaste fallet av en ren förstärkning eller dynamiskt linjära modeller, alternativt statistiskt olinjära modeller.

Nyheten i detta projekt är att använda dynamiska olinjära fysikaliska flervariabla modeller till framkoppling. Utmaningen med olinjära fysikaliska modeller är den matematiska inverteringen som krävs för att kunna använda dem i framkopplingen. Modelleringspråket Modelicas automatiska metoder för att beräkna och simulera modellinverser har nyligen öppnat för nya applikationer tack vara det icke-kausala modelleringspråket och de symboliska metoderna för ekvationsmanipulering. Detta används för att ta fram en inverterad processmodell i form av en Modelica-modell. Denna inverterade processmodell utgör sedan grunden för den robusta och approximativa invers som implementeras i ett industriellt styrsystem (i detta fall ABB Freelance).

Projektets huvudmål har varit att utvärdera och undersöka potentialen hos modellbaserad framkoppling utifrån dynamiska fysikaliska modeller av termodynamiska system och implementera det i en processanläggning. Framkopplingen har implementerats och testats på en överhettarreglering till en gaseldad ångpanna (Heleneholmsverket i Malmö), där den läggs till befintliga de PIDregulatorerna i styrsystemet.

Modellering i Modelica kräver relativt mycket förkunskap och förståelse om fysikalisk modellering av termodynamiska processer. Utbildning motsvarande civilingenjör eller högre är att föredra. För att göra nödvändiga avgränsningar och förenklingar av modellen krävs gedigen kunskap i integrationen mellan process och reglering. Metoden för modellering och modellinvertering som beskrivs i denna rapport är dock tämligen rättfram och generell, och kräver endast anpassning utifrån den process där den ska tillämpas. Detta gör att det är enkelt att överföra resultaten till vilken process som helst.

Den befintliga regleringen av överhettarna på Heleneholmsverket är väl genomarbetad och noggrant injusterad. Den hade redan före detta projekt en relativt avancerad framkoppling som det har lagts flertalet ingenjörstimmar på att trimma in. Det är därför en utmanande jämförelse för den nya framkopplingen som utvärderas i detta projekt. Trots detta så visar tester på pannan tydliga förbättringar i både störningshantering och börvärdesföljning med den nya framkopplingen. Det visar att metodiken som beskrivs rapporten är korrekt och relevant.

Den stabilare regleringen möjliggjorde en börvärdesökning på tio grader. Genom en anläggningsmodell beräknades eleffektökningen till 601 kW vid konstant fjärrvärmeeffekt. Denna eleffektsökning kräver endast 635 kW extra panneffekt. Med en pannverkningsgrad på 90 % ger det en extra bränsleeffekt på 706 kW. Ökningen ger alltså en elverkningsgrad på 85 %. Det är detta resultat som gör en temperaturhöjning efter överhettarna så intressant. För den aktuella anläggningen är ökningen värd ca 120 000 kr per år. För en anläggning med billigare bränsle är vinsten mycket större.

Även om testerna är utförda på en gaseldad panna så kan resultatet direkt anpassas till bio- och avfallseldade. Den fysikaliska modellen kommer troligen att se något annorlunda ut, detta beskrivs mer utförligt i slutet av denna rapport.

33 Drifterfarenheter från förgasningsanläggningar av biobränslen för kraftvärmeproduktion och industriella tillämpningar

FÖRFATTARE Tomas Ekbohm
Erik Rensfelt
Eva-Katrin Lindman

RAPPORT 2014:1260 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

INTRODUKTION

Förgasning innebär en omvandling av ett fast eller flytande (gasformigt kan också gälla) material till en gas genom partiell oxidation med luft / syre eller ånga med separat tillförsel av värme. Partiell oxidation uppnås genom att begränsa tillförseln av en oxidant, normalt luft, ånga eller koncentrerat syre (eller en kombination). För organiskt baserade råmaterial är den resulterande gasen typiskt en blandning av kolmonoxid, koldioxid, väte, metan, vatten, kväve och små mängder av högre kolväten. Dock kommer gasen att även innehålla tjära och partiklar etc, som kan behöva tas bort innan gasen är lämplig för förbränning. Variationsgraden i gassammansättningen beror på vilken förgasningsteknik som används.

Förgasningstekniken med biomassa har varit kommersiell i årtionden, men inte hittills vitt spridd i Europa. Ändå kan förgasning av biomassa integrerad med kombi-cykel ge en hög verkningsgrad och många fördelar i sameldning i en panna. Det finns nu omfattande forskning och utveckling av mer avancerad förgasningsteknik på nationell och internationell nivå för högeffektiva koncept, som innebär syntes till fordonsbränsleprodukter och kemikalier med höga produktvärden.

Det finns en stor trädbränslepotential vilken kan användas med förgasning till att ge flertal högvärdiga produkter. Den allmänna kunskapen inom energibranschen om förgasningsteknik är dock ofta låg, vilket kan bero på det begränsade antal kommersiella anläggningar som har byggts. Det finns många variabler vid investeringsbeslut att ta hänsyn till. I allmänhet ger bränslekostnader och produktpriser med investerings- och produktionskostnad en grundläggande kalkyl om anläggningsekonomi, vilka är tillgängliga från en leverantör. Dock är anläggningens tillgänglighet kanske ett av de områden som är mest kritiska i alla anläggningar vilket påverkar chanserna för ett investeringsbeslut, och det är uppgifter som inte är lätt att få från leverantörerna eller från publika rapporter.

MÅL OCH SYFTE

Det finns många studier som har undersökt förgasning av biomassa. Men det finns inga heltäckande sammanställningar av detaljerade drifterfarenheter och tillgängligheter på de förgasningsanläggningar som byggts och som har varit i drift sedan 1980-talet. Därför finns det ett behov av en omfattande studie som beskriver operativa erfarenheter och tillgänglighet av ett antal förgasningsanläggningar. Projektet omfattar en sammanställning och analys av gjorda drifterfarenheter med målet att bredda kunskapsbasen och möjliggöra ett bättre underlag för investerare att bedöma konkurrenskraften hos förgasningsteknik för nya teknikinvesteringar. En mycket viktig informationskälla har varit IEA Bioenergy Task 33 med work shops och rapporter som har sammanfattande uppdateringar av förgasningsprojekt och anläggningar. Det övergripande målet med projektet är att öka kunskapen om drifterfarenheter vid primärt befintlig förgasning till kraftvärme och industriella applikationer. Vidare syftar projektet till att undersöka konkurrenskraften för förgasning, och för- och nackdelar med de olika teknikerna.

STUDERADE TEKNOLOGIER OCH ANLÄGGNINGAR

Denna rapport redovisar drifterfarenheter av förgasning av biomassa med både intervjuer och studiebesök för utvalda anläggningar och teknikleverantörer. Urvalet har gjorts för att inkludera olika relevanta förgasningstekniker med fast bädd och fluidiserad bädd och suspensionsreaktorer. Studien har omfattat ledande företag och kommersiella anläggningar som idag är i drift eller är stängda, men som har gett viktiga erfarenheter vilka är värdefulla för en djupare förståelse. Fokus är inte att lyfta fram brister i sig av förgasning av biomassa utan snarare att analysera de områden som är och har varit utmanande och med de lösningar som har följt.

De utvalda anläggningarna (primärt kommersiella, och ej forskningsreaktorer) sträcker sig från små- till storskaliga och teknik från låg komplexitet med begränsad gasrening till hög komplexitet i bioraffinaderi med djupgasrening. Slutsatserna och lärdomarna är generella och viktiga inom varje kategori. Sammanfattningsvis innehåller den här rapporten en up-to-date analys av drifterfarenheter av förgasning med utvalda anläggningar för att representera den använda tekniken. En del anläggningar har varit i drift under många år och en ny modern anläggning skulle få mycket bättre anläggningsprestanda och de beskrivna första typerna av anläggningar bör inte betraktas som state-of-the-art som sådana.

DISKUSSION OCH ANALYS

Trots att det finns gott om förgasare runt om i världen, där de flesta av dem är kolbaserade har förgasning av biomassa i princip blivit kommersiellt tillgänglig endast de senaste fem åren. Undantagen är CFB mesaugnsförgasare och fastbäddsförgasare som Bioneer med teknik från 1980-talet. Detta är ett starkt bevis för att en-stegsförgasare utan ytterligare gasrening kan vara tillförlitliga och driftstartas ganska snabbt även med helautomatisk drift. Erfarenheterna med

flerstegsprocesser med avancerad gasrening illustrerar att detta är mycket svårare och kräver mer tid och pengar för driftsättning. Även när den kompletta tekniken har visats på pilotanläggningar under mycket lång tid, finns det fortfarande många kostnader som kommer att behövas tas. Med denna bakgrund kan endast långsiktiga aktörer med stora budgetar ta risken. Avfallsförgasning innehåller en hel del hanteringsproblem, och de flesta av de kända förgasningsproblemen. Enerkem-tekniken tar just nu steget till kommersiell skala baserad på pilot- och demonstrationserfarenheter. Detta pekar på det faktum att teknikutvecklingen till kommersiell skala endast till en mindre del är teknikbaserad.

KOMMERSIELLT PERSPEKTIV

En trolig orsak till att det saknas en stor utbredning av förgasningsteknik, trots stora investeringar i forskning, utveckling och demonstration, är att det finns ett begränsat antal kommersiella referensanläggningar. Drifterfarenheterna är något sämre jämfört med konventionell teknik i många fall, även om det finns viktiga undantag. Tillräcklig kunskapsbas är hittills nästan icke-existerande för en rättvis bedömning av tillgänglighet, robusthet och underhållskostnader. Den beräknade drifttillgängligheten är av yttersta vikt vid utvärdering olika teknikalternativ. Värdet av en inkrementell verkningsgradhöjning minskar inom loppet av bara några dagar vid bortfallet av en baslast- eller medellastreaktor. När tekniken är helt mogen, är det möjligt att minska både investerings- och drift- samt underhållskostnader betydligt.

Konventionell bibränslebaserad småskalig förbränning och ångturbin (Rankine-cykeln) kan i bästa fall nå en elektrisk verkningsgrad på cirka 25 % (netto), och det är mycket svårt att få ett betydande högre elutbyte. Å andra sidan har förgasning av biomassa och förbränning i gasmotorer rapporterat elutbyten på 25-35 %. Flera teoretiska studier har visat att en produktion baserad på trycksatt förgasning av cirka 150 MW tillfört träbränsle integrerad med en kombi-cykel kan nå ett netto elutbyte på 43-44 % vid full kraftvärmedrift och kondensdrift vid 46-48 %, jämfört med ångturbinkoncept utrustad med överhettning för ett elutbyte om 32-33 %.

SLUTSATSER

Anläggningens tillgänglighet är av stor betydelse för en förgasningsanläggning, inte bara för att hålla ett positivt kassaflöde för anläggningen men också för förgasningsteknologi som sådan att konkurrera med andra teknologier i investeringar för nya produktionsanläggningar. Av de studerade teknologier och anläggningar som analyserats har några valts ut och ges i nedan tabell med respektive anläggnings drifttillgänglighet. En jämförelse görs med normala drifttimmar per år för att fastställa anläggningens tillgänglighet för första 12 månader och den totala drifttillgängligheten hittills samt det senaste värdet. Det ackumulerade antalet drifttimmar ges också.

Tabell 1. Sammanfattning av drifttillgängligheter för valda anläggningar, från Bilaga A.

Projekt / verk	Process	Normal	Första 12 mån	Tillgänglighet	Dagens tillgäng.	Akkumulerade timmar
Värö	CFB	8300 h?	Data saknas	Data saknas	Data saknas	>90 000 h
Bioneer	Updraft	8000 h	Data saknas	>99 %	>99 %	200 000 h på varje förgasare
Harboöre	Updraft	8000 h	Data saknas	>95 %	97 % förgasare, 95 % motor	150 000 h förgasare, 65 000 h per motor
Kymenjärvi I	CFB	7000 h	Data saknas	98 %	96-99 %	27 000 h
Corenso	CFB	Data saknas	Data saknas	90-95 %	90-95 %	23 000 h (dec. 2005)
Güssing	FICFB	7500 h	3200 h förgasare, 1300 h motor	>7000 h = 93 %	7700 h (2012)	>80 000 h förgasare, >80 000 h motor
Skive	BFB	(+90 % för ny anl.)	(+80 % för ny anläggning.)	70-80 %	80-90 %	20 000 h
Oberwart	FICFB	7500 h	1530 h = 20 %	82 % (mål 86 %)	7500 h	26 200 till dec. 2013
Westbury	BFB	8000 h (design)	Data saknas	Data saknas	95-96 %	+5000 h
Varkaus	CFB	4740 h (beräknat)	94.3 % förgasare 47.2 % sidoström	70 % (medel)	96 % förgasare 93 % sidoström	Förgasare 9000 h, Gasrening 5500 h
Hortlax	VIPP	8000 h, >85 %	<5 %, mycket lågt	<5 %, mycket lågt	Rapporterat som bra	Ett hundratal timmar
Vaasa	CFB	6500 h	97 %, 5000 h (första säsong)	98 %	99 %	>9000 h
Gobigas I	FICFB	8000 h	2400 h första 12 månader??	Data saknas	Data saknas	>1200 timmar (okt. 2014)

Tabellen ger att det skiljer oerhört mellan teknologier för de första 12 månadernas drift för dessa anläggningar. För ny teknik som ska kommersiellt demonstreras (t.ex. fluidiserad bädd med avancerad gasrening) eller en uppskalad anläggning, annan tillämpning eller integrerad kan tillgängligheten första drifttiden antas bli mycket låg, troligen under 40 %. För känd teknologi (t.ex. fastbäddsförgasare med avancerad gasrening) kan tillgängligheten antas att bli mycket hög, närmare 100 %, och ligga kvar på denna nivå.

Flera av de kommersiella demonstrationsanläggningarna har visat på besvärliga första driftår och efter några år har tillgängligheten varit acceptabel i intervallet 80-85 % och för några även >95 %. Således har alla förgasningsteknologier kunnat nå väldigt höga siffror när erfarenheter och investeringar gjorts för att korrigera svårigheter i processerna vilket get driftstopp. Slutsatsen är att det finns en stor mängd kunskap på dessa anläggningar vilket är av stor vikt att tas med när en nästa anläggning ska byggas för att säkra kunskapsöverföring.

Denna rapport bygger på diskussioner med anläggningsoperatörer och deras drifterfarenheter med heterogena bränslen för integrerade processer vid höga temperaturer och efterföljande gasrening. Det finns värdefulla lärdomar och rapportens rekommendationer kan ge betydande kostnadsbesparingar för förbättrade koncept men de beror också starkt på vald teknologi med tillämpning samt bränsle(n).

Nyckelord: biomassa, förgasning, gasrening, drifttillgänglighet

34 Effektiv transport av bioenergi för kraftvärmeproduktion

FÖRFATTARE Jennie Rodin
 Marcus Jansson
 Moa Berglund

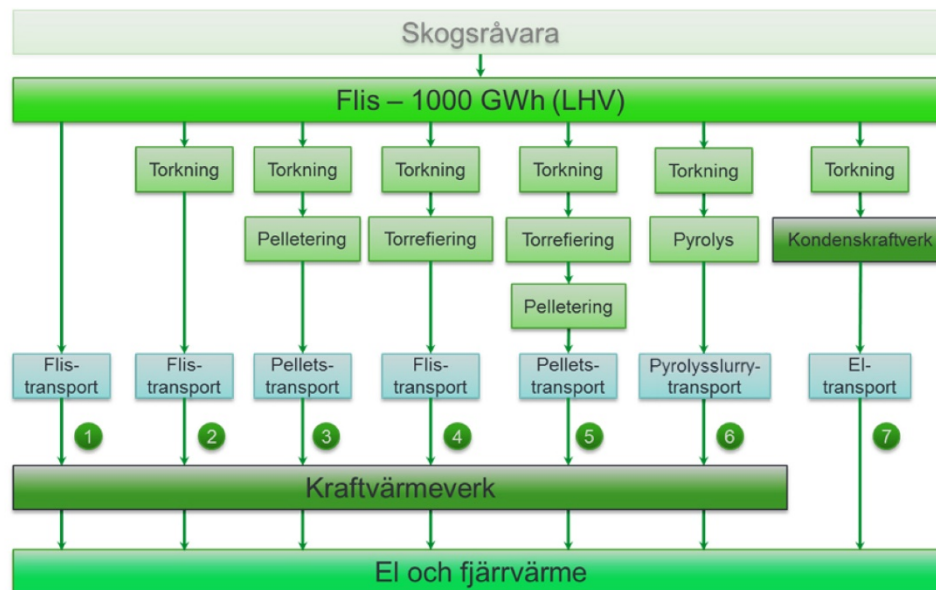
RAPPORT 2015:143

ISBN 978-91-7673-143-7

I Sverige återfinns en stor del av vår skogsråvara i norr medan flest användare finns i söder. Biomassan (ofta fuktig flis) måste därmed transporteras långa sträckor för att nå sin slutanvändare. Ur transportsynpunkt är det fördelaktigt med ett biobränsle som har så hög energidensitet som möjligt. Utredningen syftar till att undersöka det energimässiga och transportekonomiska värdet av att förädla skogsråvara innan längre transporter, med slutanvändning för kraftvärmeproduktion. Projektet har genomförts i form av en fiktiv fallstudie bestående av sju olika fall med olika typer av förädlingsprocesser;

1. Fuktig flis
2. Torkad flis
3. Vit pellets
4. Torrefierad flis
5. Svart (torrefierad) pellets
6. Pyrolysisprodukter
7. El i kondenskraftverk

Skogsråvaran förädlas i norra Sverige, transporteras med tåg till en omlastningsterminal i Mälardalen och därefter via lastbil till ett kraftvärmeverk anpassat för bränslet för att producera el och värme. Fallstudien visualiseras övegröpande i Figur I.



Figur 1. Illustration som schematiskt visar upplägget på fallstudien; 1 – Fuktig flis, 2 – Torkad flis, 3 – Vit pellets, 4 – Torrefierad flis, 5 – Svart pellets, 6 – Pyrolys, 7 – El i kondenskraftverk

Studien visar att det inte lönar sig att förädla biobränsle enbart baserat på att transporten blir effektivare då energiförlusten vid förädling är större än den minskade energiförbrukningen vid transport av förädlad biobränsle. Studien visar dock att det är ekonomiskt lönsamt ur transportsynpunkt att förädla biobränsle innan långväga transport. Dessutom minskar antalet tågomlopp för bränsleförsörjning vilket kan minska belastningen på järnvägssystemet.

Om hög totalverkningsgrad är målet ska biobränslet inte förädlas, högst sammanlagd värme- och elproduktion på systembasis på givet bränsleunderlag ges genom förbränning av fuktig flis. Om endast el beaktas är det mest gynnsamt att producera el i kondenskraftverk i norr, all annan förädling leder till minskat el- och värmeutbyte i jämförelse med att inte förädla biobränslet innan transport. Däremot minskar transportkostnaderna vid all sorts förädling och är som lägst för pyrolys och elproduktion i kondenskraftverk. Vilken förädlingsform som är mest lämplig beror på vilken energiform som efterfrågas samt vilka typer av transport- och förbränningsförutsättningar som föreligger.

Som komplement till rapporten finns en enkel beräkningsapplikation i Excel-format med möjlighet för läsaren att utföra anpassade beräkningar.

Rapportens resultat och den kompletterande beräkningsapplikationen kan användas som underlag till strategiska beslut av intressenter inom skogsnäringen, kraftvärmebranschen och övriga branscher som pappers- och massaindustrin.

35 Biokol från bioslam - Pilotförsök

FÖRFATTARE Malin Fuglesang
Åsa Sivard
Janice Törmälä,
Kajsa Fougner

RAPPORT 2015:218

ISBN 978-91-7673-218-2

Hydrotermisk karbonisering (HTC) av slam från pappers- och massa industrin har genomförts i pilotskala i AVA-CO2s forskningsanläggning i Karlsruhe. Ett bioslam och ett blendslam har behandlats. Båda slammen karboniserades väl och det producerade biokolet uppnådde ett värmevärde (torrt, askfritt) på ca 29 MJ/kg, vilket överstiger värmevärdet hos brunkol.

En egenskap som ofta lyfts fram hos biokol jämfört med slam är att det ska vara lättavvattnat. Torrhalter på 70% nämns i litteraturen som möjliga att nå med endast mekanisk avvattning. För att grovt bedöma vilken torrhalt som kan nås på biokol från slam från pappers- och massa industrin med mekanisk avvattning genomfördes avvattningstester på det producerade biokolet. Testerna gjordes i labbskala kammarfilterpress hos Metso i Sala. I avvattningstesterna uppnåddes en torrhalt på ca 45%. I utvärderingen av HTC har antagits att avvattningen kan optimeras något och att en torrhalt på 50% kan nås vid mekanisk avvattning.

Utifrån resultaten från pilotkörningarna hos AVA-CO2 och från avvattningstesterna så har nyckeldata ställts samman för HTC-behandling av slam från pappers- och massa industrin.

Nyckeldata har använts för att grovt beskriva två industriella HTC- anläggningar, en för behandling av 10 t TS/d bioslam och en för behandling av 20 t TS/d blendslam.

Modellbruken "modellbruk kraftliner" (ett bruk med sulfatmassaproduktion) och "modellbruk magazine" (ett bruk med produktion av mekanisk massa) har använts för att kunna relatera förbrukningar, utsläpp etc från de tänkta HTC- anläggningarna till data för dessa bruk.

En HTC-anläggning designad för att behandla slam från ett bruk är en förhållandevis liten anläggning. Ångförbrukningen är liten och påverkan på brukets energisituation med eventuell produktion av mottryckskraft är försumbar. Processvattnet från HTC-anläggningen kommer dock att innehålla relativt stora mängder organiskt material och närsalter och mindre mängder av metaller. Om processvattnet från en HTC-anläggning går till externrening utan reningssteg kommer belastningen på externreningen att öka. En membranfiltrering kan användas för att återföra organiskt material till HTC-processen och få ett renare vatten till reningen och samtidigt öka utbytet av biokol. Ytterligare reningssteg kan läggas till vid behov. Vilka mängder organiskt material, närsalter och metaller som

kan tillåtas i processvattnet från en HTC-anläggning till externrening måste bedömas för specifikt bruk, och därmed vilka reningssteg som behövs på processvattnet.

En ekonomisk bedömning har gjorts och resultaten kan sammanfattas enligt nedan.

För bioslam där bruket betalar 400 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en rak återbetalningstid på 3 – 5 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh). Om en kalkylränta på 7% ansätts blir återbetalningstiden 4 – 6 år.

För ett bruk där ett vått bioslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 5,5 år (7,2 år med kalkylränta 7%).

För blandslam där bruket betalar 300 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en återbetalningstid på 2 – 4 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh).

För ett bruk där ett vått blandslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 11 år (ca 24 år med kalkylränta 7%).

HTC-behandling av bioslam eller blandslam för att åstadkomma ett bättre internt bränsle till barkpannan då bruket har biobränsle som marginalbränsle är ekonomiskt ointressant. Då har dock inte beaktats att de våta slammen i vissa fall ger upphov till problem med panndriften, stopp, ökat underhåll etc.

En HTC-anläggning installerad vid ett massa- och pappersbruk med rätt förutsättningar skulle kunna vara verklighet under 2018.

36 Technical and economic potential for combined heat, power and bio-oil production in power plants-CHPO

FÖRFATTARE Eyerusalem Birru
Andrew Martin
Catharina Erlich
Pelle Mellin
Weihong Yang

RAPPORT 2015:219

ISBN 978-91-7673-219-9

En katalytisk snabbpyrolyprocess har integrerats med ett bio-baserat kraftvärmeverk på modelleringsbasis. Syftet i detta projekt är att producera värme, elektricitet och bio-olja, under realistiska förhållanden med mål att öka kapacitetsutnyttjandet hos bio-baserade kraftvärmeverk. Hörneborgsverket som ägs av Övik Energi AB, har använts som räknebasis i studien.

Snabbpyroly av biomassa är ett sätt att producera flytande bränsle från biomassa. Nyckelfaktorn är snabb upphettning av den fasta biomassan och snabb kylning av de flyktiga ångorna. Därmed maximeras vätskeutbyte. Pyrolysoljan som erhålls är mörkbrun och trögflytande med hög densitet och hyffsat värmevärde (1.2 kg/liter respektive 16-19 MJ/kg). Syre från den ursprungliga biomassan finns dock kvar och gör att är vätskan instabil och oblandbar med andra petroleumråvaror.

Om ett katalysmaterial tillsätts i processen spjälkas mycket av syret bort. På KTH har dessutom ånga använts som tillsatsmedel, processen kallas då katalytisk ångpyroly. Den bio-olja som då erhålls har:

- 12 % syreinnehåll
- låg O/C kvot
- ett värmevärde på 35.24 MJ/kg (torrbasis).

Därmed kan den användas som råvara i existerande oljeraffinaderier eller som bränsle. Data för den katalytiska snabbpyrolyprocessen kommer från ett tidigare forskningsprojekt på KTH.

Hörneborgsverket producerar i dagsläget el, fjärrvärme, fjärrkyla och processånga till intilliggande industrier. Kraftvärmeverket använder idag en bubblande fluidbäddspanna från Metso och en kondensator med flera steg, samt ett fjärrvärmekondensorsystem. Pannan har en nominell kapacitet på 130 MW som producerar ånga med trycket 140 bar och temperaturen 540°C. Ångturbinen har en nominell elektrisk effekt om 40 MW. Integrationen som gjorts innebär att en pyrolysanläggningen byggs på platsen.

Pyrolysanläggningen och kraftvärmeverket har följande integrationspunkter (1) indirekt värme från ångpannan leds till biomasstorken före pyrolysen, (2)

pyrolysgaserna leds till ångpannan för förbränning, (3) varma rökgaser från katalysregenereringen leds till ångpannan, och (4) kylvatten från bio-oljakondenseringen leds till matarvattensektionen i kraftvärmeverket.

Två huvudsakliga begränsningar identifierades:

1. Pannans maximala rökgasvolym, efter luftförvärmaren, som inte bör överskrida 80 Nm³/s. Detta begränsar hur stor kapacitet pyrolysanläggningen kan ha.
2. Pannans bränslemätningssystem, som inte kan hantera flöden under 7 kg/s. Detta begränsar hur låg lastgrad som kan köras med en given bio-oljaproduktion

Integrationen innebär också att pyrolysanläggningen kan utnyttja befintlig vattentillförsel och bränslehantering, vilket ger en lägre investeringskostnad. En ekonomisk analys genomfördes för att uppskatta produktionskostnaden av bio-oljan.

Aspen Plus som är en programvara för processmodellering användes för alla beräkningar. Tillvägagångssättet var att modellera pyrolysanläggningen och kraftvärmeverket separat. För pyrolysanläggningen användes en produktionskala på 5, 10, 20, 30 och 40 MW (LHV för producerad bio-olja). För kraftvärmeverket så användes följande lastfall 50, 60, 70 och 100 %. De enskilda anläggningarna integrerades och 20 scenarier simulerades. Det optimala fallet: 20 MW och 70 % last användes som referensfall.

SLUTSATSER

Studien har visat att:

- Den underutnyttjade panneffekten kan med fördel användas för bio-oljeproduktion under lågsäsong (sommartid), men även under högsäsong (vintertid).
- En bio-oljeproduktion om 20 MW är kompatibel med alla driftsfall som normalt sett används under året (utom 50 %).
- 20 MW motsvarar 26 000 ton bio-olja per år, med 30 % vattenhalt och ett värmevärde på 23 MJ/kg.
- Produktionskostnaden för bio-oljan, vid 20 MW och 70 % last, blir 4.7 SEK/kg (eller 752.1 SEK/MWh). Investeringen för 20 MW bio-oljakapacitet uppskattas till 276 MSEK. De årliga driftskostnaderna uppskattas till 98.4 MSEK.
- Det är möjligt att ha en större bio-oljeproduktion (>30 MW) med relativt små modifieringar i ångpannans rökgashanteringssystem vilket ger en lägre produktionskostnad.
- Produktionskostnaden av bio-oljan är mycken känslig för både pris på inköpt biomassa och hur fort katalysatormaterialet behöver ersättas med nytt.

37 Koncept för att minimera bildning av fint stoft och kväveoxider

FÖRFATTARE	Linda Bäfver Caroline Renström Johan Storm
RAPPORT	2014:1244 Värmeforsk
ISSN	1653-1248

I december 2013 publicerades ett förslag till EU-direktiv för att begränsa emissioner från förbränningsanläggningar med tillförd effekt mellan 1 MW och 50 MW. Det innebär sannolikt skärpta krav på emissionsgränsvärden framöver. För mindre förbränningsanläggningar kan det då bli problematiskt att klara gränsvärdena för utsläpp med befintlig rökgasrening och svårt att bära kostnader för investeringar i konventionell rökgasreningsutrustning. Att istället använda sig av primäråtgärder, d.v.s. åtgärder för att minska bildning av emissioner, kan vara ett kostnadseffektivt alternativ. I detta arbete har det gjorts en genomgång av koncept för minimering av bildning av stoft respektive NO_x vid biobränsleförbränning. Forskningsaktörer samt leverantörer av pannor och rökgasreningsutrustning har kontaktats för att ta fram en samlad bild av vad det finns för koncept för att minska bildning av stoft respektive NO_x. Kontakterna togs i första hand per telefon och kompletterades med kontakt per e-post. Det övergripande målet med arbetet var att bidra till kostnadseffektiv minskning av emissioner av fina partiklar och NO_x från mindre förbränningsanläggningar, 2-10 MW. Projektets målgrupp är främst ägare till mindre biobränsleeldade förbränningsanläggningar. Från arbetet dras följande slutsatser:

- **Minimering av bildning av fina partiklar (< 1 µm) och NO_x** kan till stor del göras med samma slags primäråtgärder:
 - × **Stegad förbränning**, vilket är den teknik som har störst potential för samtidig minimering av bildning av fint stoft och NO_x, men som är dyr eftersom det i dagsläget inte finns något ombyggnadskoncept för att nå låg stoftnivå. Utgångspunkten för stegad förbränning är reducerande förhållanden i primär förbränningszon. Vidare är det viktigt med väl avskilda förbränningszoner, god styrning av luft och minimering av inläckage av luft.
 - × **Rökgasåterföring**, en väl beprövad primäråtgärd för minimering av NO_x, som används av många panntillverkare, även i segmentet 2-10 MW. Det är också en viktig komponent vid samtidig minimering av bildning av fint stoft, då det används för att hålla nere förbränningstemperatur och för att skapa reducerande förhållande.
 - × **Byte till ett bränsle med lägre halter av aska och kväve**, vilket är en relativt dyr metod för att minimera bildning av fint stoft och NO_x.

- × **Optimering av processtyrning**, vilket är det som bör göras först, om bildning av emissioner skall minimeras. Både kontroll av bildning av fint stoft och NOx skall ingå samtidigt.
- **Additiv kan användas för att minimera bildning av fint stoft**, men det är relativt lite undersökt. Kaolin är det additiv som framstår som mest intressant, eftersom det fungerat på flera olika sorters biobränslen, samt är känt för att reducera risk för slagging av bränslebädd. Additiv har förhållandevis lågt pris.
- **Befuktning av primär förbränningszon kan användas för minimering av NOx** (men ej för fint stoft), två nyare koncept för minimering av bildning av NOx har identifierats som relevanta för pannor 2-10 MW.

38 Drifterfarenheter från små förbränningsanläggningar

FÖRFATTARE Monika Bubholz
Frida Bucht
Helena Kvist

RAPPORT 2014:1245 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Den här rapporten har samlat in och sammanställt vilka driftproblem och utmaningar som fastbränslepannor i storleksordningen 2-10 MW har ställts inför genom åren. Under projektets gång har projektgruppen intervjuat driftansvariga för 31 pannor, varav cirka hälften har varit platsbesök och resterande telefonintervjuer. Målet är att förbättra lönsamhet och miljöprestanda hos pannor i denna storleksordning. Efter att ha tagit del av resultaten från rapporten kan anläggningsägare utveckla sina anläggningar och lösa driftrelaterade problem. En annan målgrupp är leverantörer av anläggningar som genom att få ta del av de erfarenheter som många pannor har haft kan justera konstruktion av pannutrustning i ett tidigt stadium för att på så sätt bygga bort återkommande problem.

Nedan listas de viktigaste erfarenheterna från rapporten.

Generella kommentarer

- Varje panna är individuell och det är viktigt att driftpersonal lär sig vilka inställningar som krävs vid olika laster och olika bränslen
- Ha en kontinuerlig dialog med bränsleleverantör för att pannan ska få rätt bränslekvalitet
- Automatisera och möjliggör fjärrstyrning för att styra anläggningen mer exakt och kostnadseffektivt

Lagring, bränslehantering och inmatning

- Med en större bränsleficka kan bränslebehovet över storhelger täckas och möjliggör även färre bränsleleveranser vilket reducerar buller och damningsproblematik
- Investera i transportörer och skruvar av bra kvalitet och rätt dimension
- Använd såll eller rivarvals för att avskilja större bränslestycken och främmande föremål, speciellt när fuktiga bränslen används

Förbränning

- En jämn bädd kan uppnås genom frekvensstyrda doseringsskruvar, jämn luftfördelning under rostern samt tjock bädd
- Installera rökgasåterföring för att minska oförbränt i askan, murslitage och slaggnings

- Undvik stråkbildning genom en jämn tjock bränslebädd, rätt justerad primärluft, stor förbränningskammare och en panngeometri som ger god omblandning av rökgaserna
- Oförbränt i askan är framförallt ett problem vid höga laster
- För kontinuerlig dialog med kunder för att hantera snabba förändringar i last

Rökgasreningsutrustning och askhantering

- Med dagens emissionskrav är rökgasrening med multicyklon oftast tillräckligt vid lägre effekter, vid högre effekter krävs elfilter, slangfilter och/eller rökgaskondensor
- Askhanteringssystem bör med fördel överdimensioneras för att reducera antal larm från denna del av anläggningen

39 Förutsättningar och förslag till branschgemensamma specifikationer av flytande biobränslen för förbränning i stationära anläggningar

FÖRFATTARE Kristoffer Kollberg
Fredrik Boman
Lena Bruce

RAPPORT 2014:1254 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Bakgrunden till projektet var att det har identifierats ett tydligt behov av att utveckla ett branschgemensamt klassificeringssystem för hantering och handel av flytande biobränslen. Det finns också behov av riktlinjer relaterade till provtagning, analys, bränslekonvertering, etc. Syftet med projektet var att med hjälp av branschaktörer undersöka förutsättningarna för och skapa ett förslag till ett klassificeringssystem för flytande biobränslen för användning i stationära förbränningsanläggningar. Projektet avsåg även att förenkla provtagnings- och analysrutiner för olika typer av flytande biobränslen samt att ge konkreta råd för upphandling av utrustning och konvertering av anläggningar. Målgrupp för projektet var hela branschen för flytande biobränslen inklusive slutanvändare men också aktörer på väg in i branschen.

Projektets arbetsmetod har varit att samla branschaktörers gemensamma erfarenheter och kunskaper med hjälp av enkäter, intervjuer och en workshop samt att utnyttja referensgruppens och projektgruppens breda kompetens i ämnet.

Marknadskartläggningen ger en grundläggande genomgång av branschens alla aktörer med respektive aktörs ansvar och koppling till andra aktörer. Provtagnings- och analysrutiner sammanställer huvudsakligen förslag till förenklade provtagningsrutiner för slutanvändare. Övriga delar av värdekedjan anses ha utvecklade och väl fungerande rutiner.

När ett förslag till klassificeringssystem skulle tas fram konstaterades att viskositet i många fall är den för slutanvändarens anläggning viktigaste parametern. Den har dock ett för varje bränsle unikt temperaturberoende och är därför svår att jämföra mellan olika bränslen. Därför valdes lägsta flyttemperatur som styrande parameter i klassificeringssystemet eftersom den är oberoende av andra parametrar och den har en stark korrelation till viskositet.

Kopplat till den föreslagna klassindelning som tagits fram presenteras minimikrav för installationer (materialval och utrustning), parametrar som påverkar emissionerna, indikativa prisbilder för bränslekonvertering av anläggningar av olika storlek samt erfarenheter från slutanvändare rörande byte av flytande biobränsle och/eller leverantör. Även vid byte av flytande biobränsle i

transporterande fordon ges rekommendationer i form av tvättschema refererat till klassindelningen.

I de enkäter och intervjuer som gjordes framgick det att de som tillfrågades inte upplevde att det var svårt att byta leverantörer och bränslekvalitet. Något som resultatet från projektet var tänkt att underlätta för. Dock kan det bero på att de som tillfrågades har stor kunskap kring flytande biobränslen. Resultaten som projektet har kommit fram till kan ändå underlätta hanteringen av flytande biobränslen för branschen.

Målet att skapa en mer transparent marknad och att ta fram enkla rutiner uppfylldes genom de förslag till rutiner som har tagits fram och den föreslagna klassindelningen. Klassindelningen kan också vara till grund för en eventuell framtida standardisering.

40 Aerosolkatalysatorer för industriell gasrening

FÖRFATTARE Jan Brandin
Michael Strand
Ali Sharafat

RAPPORT 2016:315

ISBN 978-91-7673-315-8

Mindre industriella förbränningsanläggningar eller pannor är i dag hänvisade till primära åtgärder såsom trimning eller SNCR (selektiv icke katalytisk reduktion), som är en sekundär åtgärd, för att reducera NO_x-emissionerna vid förbränning. SNCR är en enkel teknik att använda, men resultaten varierar från anläggning till anläggning och ger som bäst 30-50 % reduktion. SCR (Selektiv Katalytisk Reduktion) använder sig av en katalytisk bädd för NO_x-reduktionen och kan reducera upp till 90 % av NO_x-emissionen. I dessa mindre anläggningar är det sällan möjligt att lägga till en katalysator i efterhand. Katalysator utgör dessutom en betydande investeringskostnad och kan deaktiveras snabbt, speciellt vid biobränsleeldning.

Forskningsuppgiften är att undersöka möjligheten till att åstadkomma hög NO_x-reduktion (>70 %) med SCR, utan katalytisk bädd, genom att injicera katalysatorn som fina aerosolpartiklar, i rökgasen. Aerosolerna injiceras i en het zon, följer med rökgasen, genom pneumatisk transport, och avskiljs i ett partikelfilter, såsom ett slangfilter. NO_x-reduktionen kan då ske vid den pneumatiska transporten av katalysatorn genom pannan och/eller i den katalytiskt aktiva filterkakan. Om det inte finns något sätt att recirkulera katalysatorn, kommer denna att vara en förbrukningsvara. Katalystorn måste vara tillräckligt aktiv för att begränsa förbrukningen, vara tillräckligt billig för att låta katalysatorn användas som förbrukningsvara och samtidigt vara ofarlig för människor och miljö.

Målet med arbetet är att, för mindre anläggningar, ta fram en ny process för NO_x-reduktion som ett alternativ till SNCR. Målsättningen är att NO_x-reduktionen ska vara >70 % och kostnaderna ska vara jämförbara med SNCR. Målgruppen för arbetet är energibolagen, anläggningsägarna, forskare och tekniker inom branschen, men bör också intressera myndigheter, miljöorganisationer och allmänheten.

Försöken genomfördes i en mikroreaktor på laboratoriet då förutsättningarna för tekniken behövde undersökas och lämpliga katalysatorkandidater sällas fram. I den första försöksomgången, där katalysatorn pneumatiskt transporterades genom reaktorn, registrerades enbart aktivitet för zeolit-katalysatorerna. Zeolit-katalysatorerna, som är kommersiellt använda SCR-katalysatorer, hade överlägsen aktivitet jämfört med de tidigare katalysatorformuleringarna i projektet. Först i slutet av projektet kom det fram katalysatorformuleringar som kunde mäta sig med zeoliterna i fråga om aktivitet, men då hade försöken övergått till utvärdering

av filterkakor. Från de kinetiska parametrarna, som bestämdes främst från filterförsöken, beräknades utfallen vid pneumatisk transport av katalysatorn för en tänkt 1 MW_{th} anläggning med ett rökgasflöde på 1 Nm³/s.

Två olika katalysatorer bedömdes i arbetet som intressanta, naturliga zeoliter av mordenittyp och en FeSO₄/aktivt kolkatalysator. De naturliga zeoliterna behöver undersökas angående vilka, och hur kostsamma, förbehandlingsåtgärder som behövs för att de ska bli användbara. FeSO₄/kolkatalysatorn kommer sannolikt att behöva ytterligare utvecklingsarbete. Undersökningen visade att aerosolkatalysatorer fungerar för NO_x-reduktion med ammoniak, under förutsättning att tillräckligt hög masskoncentration av suspenderade aerosolpartiklar uppnås. Förbrukningen av katalysatorer beräknades till ungefär 10 kg/h för 70-85 % NO_x-reduktion, beroende på temperatur, och vid ett rökgasflöde på 1 Nm³/s (1 MW_{th}).

Kostnadsberäkningar visade att det ekonomiska utfallet av införandet av SNCR på små anläggningar inte var särskilt gynnsamt. Höjning av NO_x-avgiften till 60 SEK/kg, förbättrar resultatet men utfallet blir ändå måttligt. Vid en NO_x-avgift på 60 SEK/kg, blir användandet av aerosolkatalysatorer gynnsamt med låga katalysatorpriser (0.5-2 SEK/kg), men det högsta acceptabla priset blir 4 SEK/kg. Uppskattat pris för katalysatorn är i storleksordningen 10 SEK/kg. För att förbättra resultatet, måste katalysatorn kunna recirkuleras.

41 Sotningsmetoder för pannor som använder besvärliga bränslen

FÖRFATTARE Kent Davidsson
Inge Johansson
Annika Stålenheim
Katarina Boman

RAPPORT 2014:1257 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

I takt med att alltmer avfall och svåra biobränslen förbränns blir behoven av sotning större. Idag finns en rad sotningsmetoder som ibland är alternativ och ibland kan användas parallellt. Många anläggningar har nyligen bytt eller står i begrepp att byta eller komplettera sin befintliga sotningsutrustning. Samtidigt har det saknats en sammanhållen beskrivning av kostnader och konsekvenser av de olika sotningsmetoderna. Detta projekt har syftat till att ge svar på vilken sotningsmetod som är mest lämpad ur ett ekonomiskt perspektiv beroende på sotningsposition och bränsle samt beskriva erfarenheter från olika sotningsmetoder. Målgruppen är främst anläggningsägare men också exempelvis konsulter. I de studerade anläggningarna har följande sotningsmetoder varit representerade:

- Ångsotning
- Vattensotning
- Luftsotning
- Kulstotning
- Slagsotning
- Sprängsotning
- Ljudsotning

Projektet genomfördes genom insamlande av kvalitativa och kvantitativa data från anläggningarna. De kvantitativa data användes i en i projektet framtagna modell för driftkostnaderna för respektive sotningsmetod. En särskild studie gjordes av Idbäcksverkets byte av gamla ångsotare till ljud- och sprängsotning. Sotningens effektivitet blir i de flesta fall en subjektiv bedömning från personalen på anläggningen och en metod som inte upplevs fungera på en anläggning fungerar bra på en annan. Utvärderingen av bytet av sotningsmetoder på Idbäcken gav dock resultatet att på överhettardelen rengjorde ångsotningen bättre än den fast monterade sprängsotningen, medan i ekonomisern fungerade ljudsotningen bättre än ångsotningen. Dock har det varit vissa intrimningsproblem och det går inte helt att fastställa hur det ekonomiska utfallet av bytet blev förrän en längre tids drift kunnat studeras.

När det gäller driftkostnader för olika sotningsmetoder beror dessa på en rad olika faktorer, där en del kan vara svåra att generalisera. I vissa fall måste lasten reduceras under sotningen på grund av andra begränsningar i systemet vilket

leder till höga kostnader. Generellt har det varit svårt att få fram bra data för kostnader, speciellt underhållskostnader och investeringskostnader.

Slutsatsen är att det är viktigt att studera de specifika förutsättningarna för anläggningen där utrustningen ska installeras. Det går inte från den genomförda studien att dra en generell slutsats om vilket som är det mest ekonomiska alternativet men erfarenheterna och kostnaderna från projektet ger dock en indikation för de olika alternativen.

Nyckelord: sotning, driftkostnader, drifterfarenheter, avfall, biobränsle

42 Homogenisering och segregering av mixade biobränslen

FÖRFATTARE Rolf Njurell
Markus Jansson

RAPPORT 2014:1259 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Detta Värmeforskprojekt avser att studera manuell homogenisering på en bränsleplan och i en mottagningsficka samt datorsimulera uppträdandet hos innehållet i en silo. En litteraturstudie m.a.p. segregering har gjorts, som analyserats och kopplats till aktuella situationer för bränslehantering vid Värmeverk.

Bränslets inköpskostnad svarar mot 50 % av ett värmeverks kostnad. Det är därför viktigt att hanteringen av bränslet sker på ett sådant sätt att extrakostnader undviks och att anläggningen i sin helhet har en hög verkningsgrad.

Värmeforsk har som nuvarande målsättning att ta fram kunskap som bidrar till att öka effektiviteten för befintliga och nya energianläggningar. Detta projekt utgör en sådan del i huvudområdet "Effektivt anläggningsutnyttjande".

Målgruppen är konsulter, anläggningsleverantörer samt driftsansvarig personal vid förbränningsanläggningar.

Projektet har genomförts som praktiska försök samt med CFD simulering av siloinnehållet. De fem vanligaste segregeringsorsakerna beskrivs samt kopplas till var de kan uppstå i anläggningar.

Några kvantitativa mått på homogenisering har inte angivits i rapporten. Det är inte praktiskt möjligt med den teknik som står till buds. Däremot har modeller skapats på det som kan analyseras och ytterlighetsgränser skapats för manuell homogenisering. CFDsimulering redovisas med bilder från fyllning och tömning av silo, samt med en diskussion om vad som händer.

Stackhomogenisering kan fungera mycket bra med de restriktioner som beskrivs i rapporten, inte minst proveldningen stöder detta. Homogenisering i mottagningsficka fungerar också med beskrivna restriktioner. Det går inte att ge ett entydigt svar om homogenisering i silo. Anläggningar som har sådana och avser att elda en besvärlig bränslemix med risk för agglomerering och askpåslag bör utföra homogenisering innan silon och provelda innan införandet av mixen.

Det finns anläggningar som i dag homogeniserar i stack och mottagningsfickor, men det har fram tills nu inte funnits någon redovisad publik utredning. Även om resultatet inte kan kvantifieras ger det ändå en antydning om vad som kan åstadkommas.

Kunskap om homogenisering finns i litteratur, forskningsrapporter mm. och är ofta relaterad till annan hantering än biobränslen vid värmeverk. Det har gjorts försök att koppla kunskapen den verklighet som värmeverken lever i och detta kan ge stöd vid om- och nybyggnad.

Nyckelord: homogenisering, segregering, bränslehantering, förbränning samt anläggningsteknik.

43 Rök-gassidig stilleståndskorrosion

FÖRFATTARE Anders Hjörnhede
Frida Jones

RAPPORT 2014:1255 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Stilleståndskorrosion, d.v.s. den korrosion som uppstår på ytor i pannor när de är avstängda, har inte studerats i någon större omfattning förutom vid användning av kol som bränsle. Detta beror bl.a. på att det finns en utbredd uppfattning om att stilleståndskorrosion är försumbart jämfört med högttemperaturkorrosion samt att det tidigare inte varit möjligt att studera stilleståndskorrosion i detalj p.g.a. snabba ändringar i korrosionsförloppen.

Studien syftar till att förstå stilleståndskorrosionsförloppen bättre samt inverkan av olika bränslen på värmeöverförande ytor i pannor. Studiens slutsatser ska leda fram praktiska åtgärder som i sin tur ska leda till minskad stilleståndskorrosion. Resultaten ska bl.a. kunna användas av pannägare och panntillverkare.

Beläggningar har tagits från eldstad, överhettare och ekonomiser i sju olika pannor, eldade med biobränsle, RT-flis eller avfall. Beläggningarna används vid simulering av en pannas nedstängningsförlopp i laboratoriemiljö, under vilken korrosionshastigheter uppmäts med realtidskorrosionssensorer. Korrosionshastigheter har uppmäts på fyra olika legeringsmaterial vilka alla återfinns i pannor; det olegerade stålet ST45.8, det ferritiska 9% Cr-stålet P91, det austenitiska rostfria stålet 304L och den nickelbaserade superlegeringen Alloy 625.

Resultat från studien visar att korrosionshastigheten ökar snabbt, allteftersom fukthalten stiger i beläggningarna, under de första dygnet pannan är nedstängd och korrosionshastigheter närmare 2mm/år uppmäts med realtidskorrosionssensorer. Vid flera av de genomförda mätningarna är dock korrosionshastigheterna låga. Det olegerade stålet uppvisar de klart högsta korrosionshastigheterna följt av det 9%-Cr-stålet. Det austenitiska stålet men framförallt den Ni-baserade superlegeringen uppvisade mycket låga korrosionshastigheter.

En viss korrelation mellan kloridhalt i beläggningarna och korrosionshastighet finns. En fingervisning om risk för omfattande stilleståndskorrosion fås genom att analysera kloridhalten i beläggningen. Hög kloridhalt ökar risken för stilleståndskorrosion. Det finns risk för att stilleståndskorrosion påverkar högttemperaturkorrosionsegenskaperna genom att bryta ner eventuella skyddande skikt.

Resultaten tyder på att ytor med olegerat stål av typen ST45.8 snarast bör rengöras, även om korrosionshastigheterna varierar kraftigt för detta stål. För de andra legeringsmaterialen är behovet av omgående rengöring inte lika akut eftersom de uppvisar ett bättre motstånd mot stilleståndskorrosion.

Resultaten visar dels att användandet av realtidsskorrosionssensorer passar utmärkt till korrosionsförlopp med snabba förändringar samt att stilleståndskorrosion är en form av korrosion som i förlängningen kan ge upphov till materialskador.

Nyckelord: Stilleståndskorrosion, realtidsskorrosionssensor, beläggningar, luftfuktighet

44 Livslängd och integritet hos svetsar under kryp

FÖRFATTARE Henrik C.M. Andersson-Östling
Rui Wu
Jan Storesund
Rikard Norling

RAPPORT 2016:314

ISBN 978-91-7673-314-1

I den här rapporten har krypegenskaperna hos två olika driftutsatta svetsar studerats. En svets var av materialet 13 CrMo 4 4 och den krypprovades vid den låga temperaturen 450 °C. Resultaten visar att materialet kryper även vid den här temperaturen och krypsprickpropageringsprovning visar att mekanismerna är samma som vid högre temperaturer. Den andra svetsen var en blandsvetsskarv mellan ett 2.25% Cr-stål och ett 12% Cr-stål. Här provades både en ren driftutsatt svets och en svetsreparerad svets. Tillsatsmaterialet i den reparerade svetsen var av ett 5% Cr-stål. Svetsen krypprovades vid 550 °C. Resultaten visar att båda svetsarna har liknande egenskaper i kryp och att krypbrotten går i typ IV och typ IIIa position i den låglegerade värmepåverkade zonen (HAZ), med preferens för typ IIIa position vid lägre spänningar. Lägre spänningar är mest likt de spänningar som är aktuella i drift i verkliga anläggningar. Provning med specialutformade HAZ-provstavar visar också att svetsgodset av 5% Cr-stål har lika bra, eller bättre, krypegenskaper än hela den driftutsatta svetsen.

Simuleringar av kryp i blandsvetsskarvar har också utförts med indata från en tidigare provning med likande provstavar. Modelleringen visar att spänningstillståndet i en blandsvetsskarv med avkolad zon är komplicerat och att spänningarna i den avkolade zonen har ett stort inslag av inspänningseffekter som är svåra att modellera. Det är sannolikt också dessa inspänningar som skapar de skador som ger det slutliga brottet.

45 Dimensioneringskriterier för anläggningsdelar utsatta för krypning

FÖRFATTARE Anders Kallenberg
Peter Algotsson

RAPPORT 2014:1253 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Sedan den europeiska rörnормen EN13480 presenterades, har det för vissa stålsorter noterats att den erforderliga tjockleken vid design av anläggningsdelar som är utsatta för krypning, kan bli tunnare om de designas för en livslängd på 200 000 timmar än om den designas för 100 000 timmar. Det är troligen ologiskt att ett tunnare gods skulle hålla längre än ett tjockare.

Uppgiften i denna rapport består dels i att försöka bevisa att normen är fel utformad, dels att undersöka för vilka fall den är fel utformad, dessutom visa på en rimlig omformulering samt en uppskattning av den förväntade livslängden på de anläggningar som designats enligt normen.

Målet med rapporten är att den ska vara till hjälp för beställare av anläggningar då krav ska specificeras samt till hjälp för driften av anläggningar då det kommer till återkommande underhåll.

Studien har genomförts genom litteraturstudier av handböcker, normer och vetenskapliga rapporter. Dessutom har samtal förts med personer med stor både vetenskaplig och erfarenhetsmässig kunskap inom kryp-, hållfasthet- och materialområdet. Ett par möten med en referensgrupp har genomförts då viktiga synpunkter har framförts som bidragit till rapportens utformning.

Resultaten visar att för flertalet material kan en situation uppstå då godset blir tunnare för en längre designad livslängd, än för designlivslängden 100 000 timmar trots utformning enligt norm. Både en undersökning av kryptöjning samt en empirisk undersökning av kända fall av skador på rör visar att tunnare gods och högre utnyttjandegrad ger snabbare kryptöjning och snabbare uppkomst av skador.

En jämförelse mellan kostnaden för att designa en huvudångledning enligt den gällande normen och en variant där samma krypsäkerhetsfaktor används för 200 000 timmar som vid 100 000 timmar, visar att om man väljer att designa med det senare fallet, kan kostnaderna öka med ca 25 % (X10CrMoVNb9-1 DN250) men den förväntade livslängden ökar med ca 50 %.

Om man som beställare ska specificera krav för en anläggning som ska designas för 200 000 timmar, bör en krypsäkerhetsfaktor på 1.5 istället för 1.25 övervägas, åtminstone då materialet X10CrMoVNb9-1 ska användas. Ägare till anläggningar som designats för 200 000 timmar bör starta med undersökningar av krypskador på svetsskarvar minst 10 % (10 % snabbare kryptöjning är vad som framkommer

för materialet 13CrMo4-5 i rapporten. Tills samma data finns för andra material är det detta som får gälla som riktvärde) tidigare än vad som anges i publicerade rekommendationer såsom [8][9][13].

Därefter ska ytterligare provningar genomföras efter drifttider som styrs av: eventuella avvikelser vid den tidigare provningen, utnyttjandegrad, systemspänningar och publicerade rekommendationer såsom [8][9][13].

Generellt bör en nollprovning utföras som för ångledningar innebär att en replikaprovning utförs på några valda svetsar (för X10CrMoVNb9-1 även en rörböj). Detta är för att kontrollera mikrostruktur och värmebehandling samt att en direkt jämförelse kan göras med kommande replikaprovningar.

46 Handbok i Vattenkemi för energianläggningar

FÖRFATTARE Mats Hellman
RAPPORT 2015:113
ISBN 978-91-7673-113-0

Det finns inte så mycket litteratur inom teknikområdena matarvattenbehandling och kylvattenbehandling utgiven på svenska. Värmeforsks rapporter står för en stor del av det material som utgivits.

Värmeforsk gav bl.a. ut rapporten Handbok i vattenkemi för energianläggningar, 2001, vilken används som uppslagsverk vid många svenska energianläggningar. Flera kapitel i handboken har på senare år skrivits om i fristående Värmeforskrapporter, t.ex. provtagning, riktvärden, konservering etc. då materialet i handboken ansetts vara föråldrat.

Det har hänt en hel del inom teknikområdet de senaste 20 åren vilket motiverat en uppdatering av hela handboken. De fristående rapporterna har integrerats i handboken och resterande kapitel uppdaterats.

Ett flertal experter inom det aktuella teknikområdet har nått, eller kommer inom kort att nå, pensionsåldern. De har bidragit med kunskap och erfarenheter från sina speciella teknikområden och den unika kunskap de besitter har dokumenterats och införlivats i handboken.

De värmeforskrapporter som helt eller delvis implementerats i handboken kommer att finnas kvar i Värmeforsks rapportdatabas. Även om de väsentligaste delarna finns med i handboken kan de utgöra en källa till kunskap för den som vill fördjupa sig ytterligare i det aktuella ämnet eller studera referensmaterialet i originalrapporten. Aktuella Värmeforskrapporter anges i inledningen till varje kapitel. Värmeforsks rapport nr 729, *Handbok i vattenkemi för energianläggningar* version 2001, kommer dock utgå.

47 Korrosionskontroll genom analys av flygaska och avlagringar

FÖRFATTARE Rikard Norling
Annika Stålenheim
Fredrik Niklasson
Anders Hjörnhede

RAPPORT 2015:151

ISBN 978-91-7673-151-2

Arbetet har jämfört metoder för provtagning och analys av flygaska och avlagringar med målsättning att utveckla och rekommendera snabba, enkla, mätnoggranna och/eller kostnadseffektiva sätt att utvärdera risken för högtemperaturkorrosion i förbränningsanläggningar. Tre olika metoder för provtagning (avlagringssond, totalstoft, impaktor) och tre olika analystekniker (SEM-EDS, ICP, handhållen XRF) har använts parallellt. Försök har utförts i en bio- och två avfallseldade pannor. En utvärderingsmetod som till vissa delar gör resultaten från olika analystekniker kvalitativt jämförbara har utvecklats och dess begränsningar utvärderats. Avlagringssond i kombination med analys med handhållet XRF-instrument är en ny metod. Arbetet har visat att den ger möjlighet till relativt snabb utvärdering (<4 h) av risken för korrosion, där detta tidigare krävde minst dagar och vanligen flera veckor. Detta underlättar större bränsleflexibilitet och justering av användningen av korrosionshämmande additiv.

48 Robustare skorstenar och rökgaskanaler i GAP

FÖRFATTARE Johan Samuelsson
Caroline Ankerfors

RAPPORT 2015:173

ISBN 978-91-7673-173-4

Glasfiberarmerad esterplast (GAP) är ett välbeprövat material för att hantera de korrosiva miljöer som fuktiga men även varma och torra rökgaser i en förbränningsanläggning utgör. Målet med projektet har varit att försöka förstå de mekanismer som är inblandade när kritisk delaminering uppstår i skorstenar och rökgaskanaler av GAP. Detta kan inträffa då dessa utsätts för växelvis fuktig korrosiv miljö vid låg temperatur och för heta rökgaser vid bypass-körning eller andra driftstörningar.

Inom ramen för projektet har systematiska studier på laboratorienivå gjorts med avseende på inverkan av temperatur och fukthalt i laminaten samt inverkan av materialparametrar såsom harts, armering och glashalt. För att öka förståelsen om bakomliggande orsaker till skador samt identifiera problemområden skickades frågeformulär ut till 40 olika svenska kraftvärmeverk och avfallsförbränningsanläggningar.

Målgrupp är först och främst personer som är inblandade i upphandling och kvalitetskontroll av GAP-utrustningar/komponenter som används i förbrännings- och värmekraftverk. En annan målgrupp är de företag som tillverkar och säljer produkter i GAP, vilka ska användas i verken. En tredje målgrupp är driftoperatörer som vill lära sig hur och varför GAP-material reagerar på ett visst sätt.

Laminat med olika hartskombinationer har tillverkats och exponerats ensidigt för en simulerad skorstensmiljö med surt kondensat vid 80°C under olika tider för att sedan under två timmar utsättas för 200°C. Detta för att simulera en driftstörning med bypass-körning.

Endast en av de laminattyper som tillverkades och sedan ensidigt utsattes för fukt och hög temperatur uppvisade delamineringsskador under projektets gång. De laminat som utsattes för dubbelsidig fukt och hög temperatur uppvisade alla delamineringsskador redan efter mycket kort tid vid 200°C. Detta visar att fukt är en bidragande faktor till delamineringar, dock inte den enda orsaken till att dessa skador uppstår. En bidragande orsak till svårigheten att provocera fram delamineringsskador är troligtvis att ett lindat laminat generellt har en skarpare övergång i glashalt mellan spärrskikt och styrkelaminat än de labbtillverkade laminaten. En mjukare övergång i glashalt resulterar i mindre skillnad i termisk expansion mellan skikten.

DMA (dynamic mechanical analysis) visade sig vara en lämplig metod att använda tillsammans med DSC (differential scanning calorimetry) för bestämning av HDT (heat distortion temperature) och T_g (glastransitionstemperatur) för glasfiberarmerade laminat. Resultaten visar att de data som hartstillverkare hänvisar till i sina respektive produktblad generellt är mycket svåra att uppnå vid tillverkning av GAP-utrustning. Dessa data bör därför ses som teoretiska maxvärden och snarare vara till hjälp för att rangordna olika hartser inför design av processutrustning. DMA användes även för att mäta termisk längdutvidgning i laminat, och resultaten visade att det finns en distinkt skillnad i längdutvidgning mellan spärrskikt och styrkelaminat på prover tagna ur en rökgaskanal.

49 Olinjär och dynamisk optimering för kortsiktig produktionsplanering

FÖRFATTARE Stéphane Velut
Per-Ola Larsson
Johan Windahl
Katarina Boman
Linn Saarinen

RAPPORT 2013:1243 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Det kortsiktig produktionsplaneringsproblemet är löst i två steg genom att integrera fysikaliska modeller och den nuvarande standardmetoden. Det första steget beräknar de diskreta variablerna från start/stop problemet (SSP) med hjälp av diskretidsmodeller och linjärprogrammering. Det andra steget fokuserar på det optimala lastfördelningsproblemet (LFP) som beskrivs med fysikaliska olinjära modeller i kontinuerlig tid och löses med olinjär dynamisk optimering. Från det andra steget fås optimerad värmeproduktion för varje enhet, men även relevanta variabler såsom temperatur och flöde i framledningen och by-passventilens öppning i el- och värmekraftverket. Optimeringsproblemet är formulerat så att intäkterna från värme- och elektricitetsförsäljning är maximerad över optimeringshorisonten.

Den föreslagna metoden är validerad i flertalet testfall som använder mätdata från ett fjärrvärmesystem i Nyköping. Optimeringarna visar att den föreslagna metoden är möjlig att använda och ger en stor ekonomisk vinning jämfört med mätdata och optimeringstekniker som idag anses vara standard. De resulterande körschema från optimeringarna ger en balans mellan producerad och konsumerad värme, ger prioritet till enheter med billigast drift och maximerar intäkten. Jämfört med mätdata så visar optimeringsresultaten att temperaturen och flödet i framledningen kan sänkas, respektive höjas, användning av den externa kylaren kan ökas, färre enheter behöver köras och att ackumulatören kan användas på ett bättre sätt.

Den högnivåbeskrivning som JModelica.org erbjuder ger flexibilitet när optimeringsproblem ska formuleras som inkluderar begränsningar på godtyckliga processvariabler såsom värmelaster för enheterna, temperatur och flöde i framledningen samt kondensortryck.

50 Integrering av termokemiska tillverkningsprocesser med kraftvärmeproduktion

FÖRFATTARE Christer Gustavsson
Daniel Nordgren
Karl Lindberg

RAPPORT 2015:111

ISBN 978-91-7673-111-6

Skogsindustrin och kraftvärmeproducenterna är de dominerande aktörerna vad gäller omsättning av skogsråvara i Sverige. I dagsläget består slutprodukterna från den svenska pappers- och massaindustrin i huvudsak av pappers- och kartongmaterial, massa och fasta oförädlade biobränslen samt värme och el. Andra produkter som framställs i olika omfattning är tallolja, terpentin samt lignosulfonat. För ett konventionellt kraftvärmeverk är huvudprodukterna värme och el och i vissa fall processånga till närliggande industrier. Det finns dock potential till att ytterligare utöka produktutbudet från båda dessa industrier till att även inkludera nya typer av bränsleprodukter, kemikalier och material. I detta projekt har de termokemiska processerna torrefiering och snabb pyrolys studerats.

Målet med projektet har varit att ge en djupare kunskap om de termokemiska omvandlingsprocesserna torrefiering och snabb pyrolys, samt hur ett typiskt svenskt sulfatmassabruk och fjärrvärmeverk påverkas av en integration med ovanstående processer. Projektet har syftat till att öka förståelsen av integrationsmöjligheterna genom ett fördjupat tekniskt fokus avseende sidoströmmars sammansättning och hur de kan utnyttjas i kraftvärmeverket.

I projektet har de termokemiska tillverkningsprocesserna modellerats utifrån tillgängliga litteratordata gällande elementarsammansättning och värmevärden för råvaror och bränslen. Genomförda simuleringar visar att samlokalisering och integrering av anläggningar för snabb pyrolys och torrefierade pellets med kraftvärmeanläggningar medger produktion av bränsle i stor eller mycket stor skala. I synnerhet gäller detta för de samlokaliserade fallen av torrefiering och snabb pyrolys. För snabb pyrolys som integreras med befintlig panna genom kommuniserande bädd är produktionspotentialen mindre, men fortfarande betydande. Simuleringarna visar att ur ett strikt energimässigt perspektiv finns i första hand vinster med att integrera anläggningar för snabb pyrolys med befintliga kraftvärmeverk, då detta medger en verkningsgradsökning på 2-6% för de undersökta fallen. Vidare medger integrering och samlokalisering av såväl pyrolys som torrefiering ett ökat värmeunderlag för kraftvärmeverket vilket kan utgöra ett ekonomiskt incitament om el- och certifikatpris är höga.

Samlokalisering och integrering av bränsletillverkning och kraftvärme kan genomföras med små konsekvenser för fastbränslepannor och

värmedistributionssystem. För de studerade samlokaliserade fallen så har pannorna funnits kapabla att uppnå nominell kapacitet utan att begränsningar i rökgasflöde eller kondensatinsprutning mellan överhettare uppstår. För fallet med kommuniserande bädd-baserad pyrolys så är BFB pannors kapacitet att förbränna icke-flyktigt bränsle sannolikt en klart produktionsbegränsande faktor.

Nyckelord: torrefiering, pyrolys, biomassa, bränslen, kraftvärme.

51 Status och erfarenheter från befintliga och planerade bioenergikombinat 2013

FÖRFATTARE Anna Liljeblad
Daniella Johansson

RAPPORT 2014:1256 Värmeforsk

ISSN 1653-1248

Bioenergikombinat, där biomassa omvandlas till el, värme och biobränslen eller biodrivmedel vid integrerade anläggningar, kan ge både effektiva och lönsamma processer. Potentialen att integrera verksamheter kan exempelvis finnas avseende råvara, värmeförsörjning till biobränsle/biodrivmedelsproduktionen och/eller tillvaratagandet av restvärme och restprodukter från biobränsle/biodrivmedelsproduktionen. Genom möjligheten att integrera olika anläggningar med varandra och därmed utnyttja energi- och resursflöden effektivare har bioenergikombinat blivit ett hett forskningsområde under senare år och ett antal aktörer har gjort stora investeringar och fler anläggningar är under planering. Trots de potentiella fördelarna har dock marknaden för bioenergikombinat i Sverige inte utvecklats i den takt som hade kunnat förväntas och en osäkerhet upplevs på marknaden. Ett antal planerade anläggningar har erhållit stöd som sedan delvis dragits tillbaka då medfinansiering från industrin saknats eller då aktören dragit sig ur program av olika skäl. Vidare har flera projekt lagts på is eller helt lagts ner. Detta trots att det finns flera studier och forskning, bland annat tidigare Värmeforsksprojekt, som visar på att bioenergikombinat kan vara lönsamma.

Det övergripande målet med projektet har varit att sakligt beskriva status och erfarenheter från befintliga, planerade och avskrivna bioenergikombinat i Sverige, med fokus på att identifiera hinder och drivkrafter för utvecklingen och utbyggnaden av bioenergikombinat i Sverige. Vidare har målet varit att ge en bild över förutsättningarna och vad som krävs för att fler bioenergikombinat ska komma till stånd.

De aspekter som behandlas i projektet är främst av generell karaktär och vägledande för bolag som har ett intresse gällande bioenergikombinat. Projektet ger en överblick över vilka drivkrafter och hinder som finns och vad som krävs för att fler bioenergikombinat ska komma till stånd på den svenska marknaden. Målsättningen är att aktörer som planerar att ingå i bioenergikombinat ska kunna använda resultaten som bakgrundsmaterial. Målsättningen är även att nå ut till politiker med de åtgärder som krävs för att få till stånd fler bioenergikombinat.

Projektet baseras främst på djupintervjuer med bioenergikombinatsaktörer på den svenska marknaden, öppen litteratur, samt analys av författarna. Avseende litteraturstudien har information om marknaden, aktörer, lagstiftning och genomförda bioenergikombinatsutredningar studerats översiktligt. Djupintervjuerna har genomförts med 19 aktörer på den svenska marknaden som

tillsammans representerar 14 bioenergikombinat. De bioenergikombinat som inkluderas i studien är; (1) befintliga anläggningar som idag är i drift, (2) planerade anläggningar samt (3) anläggningar som avskrivits eller planerade anläggningar där planerna skjutits upp. Både bioenergikombinat med pelletsproduktion och med biodrivmedelsproduktion inkluderas i studien.

Under intervjuerna har det framkommit att ekonomisk lönsamhet är ett viktigt motiv och drivkraft för investering i bioenergikombinat. Hur marknaden och möjligheter till lönsamhet upplevs bland aktörerna varierar dock beroende på typ av bioenergikombinat och vilken status kombinatet befinner sig i, det vill säga om det är i drift, planerat eller nedlagt. Idag saknas i de flesta fall lönsamhet om inte styrmedel finns på marknaden då de motsvarande fossila produkterna är betydligt billigare att producera. Det finns även två ytterligare framträdande faktorer som påverkar lönsamheten; säker råvarutillförsel samt avsättning av slutprodukterna.

Den vanligaste ägandeformen inom bioenergikombinaten (främst för bioenergikombinat där biodrivmedel produceras) är att varje aktör äger och ansvarar för sin produktion och investeringar och sedan utformar någon sorts samarbetsavtal mellan varandra. Nästintill alla bioenergikombinat (förutom två) som är i drift ägs helt eller delvis av kommunala bolag. Alla bioenergikombinat som är under planeringsstadiet, är dock helt privata. Det är tydligt att samarbete mellan aktörerna är viktigare för drivmedelskombinat med flera biprodukter jämfört med kombinat med pelletsproduktion, vilket kan förklaras med att i fallet med pelletsproduktion, är det primära syftet med kombinatet oftast att öka värmeunderlaget för kraftvärmeverket eller för industrin och det sekundära syftet att tillverka pellets. Kombinat med kraftvärme och drivmedelsproduktion genererar vanligen flera olika biprodukter och kräver därmed flera olika förädlingsprocesser. Dessa kombinat är ofta komplexa och kräver en bred och detaljerad kompetens, vilket troligen inte ryms inom ett enskilt företag. Detta är troligen anledningen till att drivmedelskombinat ofta består av flera olika aktörer, som samarbetar genom avtal med varandra, istället för att drivas av en och samma ägare.

Styrmedel och offentliga stöd har haft och har en avgörande betydelse för investeringar inom bioenergikombinat, eftersom ekonomisk lönsamhet idag saknas utan styrmedel. Det är främst befrielsen från koldioxid- och energiskatt för förnybara bränslen samt elcertifikaten som gjort att flera av kombinaten realiserats. Flera av bioenergikombinaten har även fått statligt stöd för investeringen. Offentliga stöd i ett tidigt skede kan möjliggöra att projektet realiserar. Detta ger inte enbart finansiellt stöd utan visar även att staten/EU tror på idén och anser att det är en satsning i rätt riktning. Det är dock tydligt att situationen som råder på marknaden upplevs som osäker.

Marknadsutvecklingen för bioenergikombinat och avsättningen av både pellets och drivmedel är idag starkt kopplade till hur energi- och klimatrelaterade styrmedel utformas framöver. Generellt tror och hoppas aktörerna på en positiv utveckling då efterfrågan på förnybar energi ökar och frågan aktualiseras av beslutsfattare och media. Det finns även ett flertal drivkrafter för en positiv utveckling där de mest framträdande kan kategoriseras inom; (1) Ekonomi, (2) Miljö samt (3) Samhälle. Det finns dock även ett flertal hinder mot en positiv

utveckling, där de mest betydande kan kategoriseras inom; (1) Ekonomi, (2) Råvaru- och Produktmarknaden samt (3) Ägande- och samarbete.

Ett stort antal faktorer påverkar vilka bioenergikombinat som kommer att realiserats och vilka produkter som kommer att efterfrågas i framtiden. För att fler bioenergikombinat ska komma till stånd på marknaden krävs att drivkrafterna är tillräckligt starka och att hindren, framförallt avsaknad av ekonomisk lönsamhet, övervinns. Detta innebär att anläggningarna måste kunna producera produkterna under lönsamma förhållanden. För att lönsamhet ska uppnås krävs, i de flesta fall, ekonomiska styrmedel, då de motsvarande fossila produkterna i nuläget oftast är billigare och det saknas betalningsvilja på marknaden att betala mer för förnybara bränslen än för fossila. Alternativet är att kraftigt öka priset (skatterna) för de fossila bränslena så att dessa blir dyrare för att på så sätt skapa efterfrågan på alternativa bränslen. Vidare krävs en långsiktig politik med tydliga riktlinjer och regler som gäller över tid (minst 10-20 år) då investeringar i bioenergikombinat är kapitalintensiva investeringar med lång återbetalningstid. Därmed måste aktörerna redan vid införandet av ett styrmedel få en bild över hur kraven kommer att förändras över tid, för att på så sätt få rimliga marknadsvillkor att arbeta efter och för att våga investera kapital på ny teknik och nya produkter.

Nyckelord: bioenergikombinat, biodrivmedel, biobränsle, styrmedel och skatter

PROJEKT I SAMVERKANS- PROGRAM FÖR BRÄNSLEBASERAD EL- OCH VÄRMEPRODUKTION

Det här är en sammanställning av alla de drygt 50 projekt som ingår i Energiforsk och Energimyndighetens samverkansprogram Bränslebaserad el och värme-
produktion, SEBRA och dess föregångare under 2012-2016.

Programmet utvecklar effektiva och miljöanpassade kraft- och värmeproduktionsanläggningar. Att studera skogsindustriella lut- och bibränslepannor har också varit en del av forskningen. Målet är att bidra med ny kunskap till en långsiktig utveckling av effektiva och miljövänliga energisystemlösningar.

Varje projekt presenteras med en sammanfattning som även ingår i slutrapporten från projektet.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk