VÄRMEFORSK

Anvisningar för konvertering av rosterpannor till fluidiserad bäddteknik

Lars Eriksson, Rolf Ingman

SKOGSINDUSTRIELLA PROGRAMMET 725

Anvisningar för konvertering av rosterpannor till fluidiserad bäddteknik

Lars Eriksson, Rolf Ingman

SKOGSINDUSTRIELLA PROGRAMMET 725

Anvisningar för konvertering av rosterpannor till fluidiserad bäddteknik

Recommendations for conversions of grate fired boilers to fluidising beds

Lars Eriksson, Rolf Ingman
ÅF-Energikonsult AB

S9-811

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 STOCKHOLM - TEL 08/677 25 80
Mars 2001
ISSN 0282-3772

Abstract

This report is giving advises and recommendations for retrofitting of grate fired boilers to fluidising beds. Nine plants have been visited and experiences from these conversion projects have been gathered and analysed. Among the important points planning, fuel specification, heat balance calculations and clarifying of delivery limits can be mentioned. It is also important not to underestimate the need for education of the operational staff.

Sammanfattning

Ett antal pannanläggningar i Norden har byggts om från roster till fluidbädd. Denna konvertering har ofta motiverats av mindre investeringskostnader jämfört med att bygga en helt ny panna.

Detta projekt har syftat till att ta fram råd och anvisningar för hur och om en konvertering av en rosterpanna till fluidiserad bädd skall genomföras.

Arbetet har omfattat besök vid nio anläggningar där ombyggnader genomförts eller pågår (ett fall). Uppgifter och synpunkter från ytterligare ett pågående konverteringsprojekt har inhämtats.

Vid konvertering av pannanläggningar är det viktigt att åtgärderna föregås av noggranna och befogade förundersökningar, lämpliga teknikval och en genomarbetad projektplanering. Det är också viktigt att de upphandlingar som görs baseras på kontrakt med entydiga formuleringar samt klara beskrivningar av leveransgränser och ansvarsområden.

I rapporten lämnas rekommendationer om hur konverteringsprojekt kan läggas upp, baserat på erfarenheter från de studerade anläggningarna. Följande punkter tillhör de viktigaste:

- Bränslespecifikationen måste klarställas avseende såväl analys som ett relevant spann för dessa värden. Den hastighet med vilken torrhalten kan variera är också viktig att få grepp om.
- Aktuell anläggningsdokumentation (relationshandlingar) måste tas fram och vid behov uppdateras.
- Tidsplaneringen är viktig och måste baseras på realistiska tidsuppskattningar.
- Undersökning av pannans tryckbärande delar m a p korrosion, erosion etc krävs.
- Genomräkning av pannans värmebalans med den nya förbränningsanordningen är nödvändig. Genomförs denna av leverantören bör den kontrolleras av beställaren.
- Ångförsörjning under ombyggnaden skall planeras.
- Kostnader för stillestånd och alternativa bränslen måste beaktas.
- Leveransgränser måste fastläggas tydligt.
- Bränsle- och askhantering - kritiska punkter analyseras.
- Uppföljning av leverantörens planerings- och projekteringsarbete är nödvändig.
- Utbildningsinsatsen får inte underskattas. Det är stor skillnad mellan roster och FB-pannor

Summary

A number of boiler plants in the Nordic countries have been converted from grate firing to fluidising bed. This retrofit has often been motivated by less investment costs com-pared with the building of a complete new boiler.

This project is aiming to give advises and recommendations for how and if a conversion of a grate fired boiler to a fluidised bed should be done.

The work has included visits at nine plants where conversions had been done or were on going. Information and opinions from one more conversion project in progress has been collected.

By conversion of a boiler plant it is important that the measures starts with careful and motivated examinations, proper choice of technique and a well prepared project planning. It is also important that the purchases are based on contracts with plain language and distinct descriptions of delivery limits and areas of responsibility.

In the report recommendations are given on how retrofit projects can be planned based on experiences from the studied plants. The following points belongs to the most important:

- The fuel specification must be clarified regarding as well analyses as a relevant span for these values. The velocity for fuel moisture variations is also important to specify.
- Documentation of the plant (as-built documents) must be presented and if necessary, up-dated.
- The time planning is important and must be based on realistic time estimations.
- Examinations of the boilers pressure parts, concerning corrosion, erosion etc, are necessary.
- Calculations regarding the boiler heat balance with the new furnace are necessary. If this is presented by the FB-supplier it should be controlled.
- The steam supply during the rebuilding must be planned.
- Costs for standstill and alternative fuels must be considered.
- Delivery limits must be clearly confirmed.
- Fuel- and ash handling systems - critical points must be analysed.
- Control of the suppliers' planning- and design work is necessary.
- The need for education should not be underestimated. It is a considerable difference between grate fired and FB-boilers.

Innehållsförteckning

Abstract 2
Sammanfattning 3
Summary 3
1. Bakgrund 7
2. Syfte och omfattning 7
3. Allmänna aspekter 7
4. Teknikjämförelse mellan roster och fluidbädd 8
4.1 Rosterpannor 8
4.2 Fluidbäddpannor 9
5. Motiv för konvertering 11
5.1 Förändringar av bränsleval och kvalité 11
5.2 Krav på ökad kapacitet 11
5.3 Förbättring av miljöprestanda 11
5.4 Åldring av anläggningen 11
6. Alternativa konverteringsmetoder 12
7. Problem vid konverteringar 13
7.1 Oplanerade kostnader 13
7.2 Förändringar av ångdata 13
7.3 Förseningar 13
7.4 Upptäckter av skador och annat oförutsett 13
7.5 Skador efter idrifttagning och driftstörningar 14
8. Erfarenheter av konverteringar 15
9. Rekommendationer och anvisningar 19
9.1 Primära överväganden 19
9.2 Förstudier 19
9.2.1 Teknikval - ombyggnad eller nybyggnation - förundersökningar 19
9.2.2 Preliminärt schema och layout 20
9.2.3 Budgetanbud från leverantörer 20
9.2.4 Planering - tider 20
9.2.5 Budget 21
9.2.6 Kontakt med myndigheter 21
9.3 Förprojektering 21
9.3.1 Programhandlingar 21
9.3.2 Anbudsgenomgång 21
9.3.3 Övrigt 22
9.4 Projektering - entreprenadupphandling 22
9.4.1 Slutlig anbudsgranskning 22
9.4.2 Beskrivning av leveransgränser 22
9.4.3 Upphandling - kontrakt 22
9.5 Genomförandet av ombyggnaden 23
9.5.1 Tider 23
9.5.2 Montagearbetet 23
9.5.3 Övrigt 23
9.6 Driftprov 23
9.7 Övrigt 23
9.8 Sammanställning 24
10. Förslag till fortsatt arbete 26

Bilagor

Bilaga 1	Rapport från besök - Anjalankoski
Bilaga 2	Rapport från besök - Frövi
Bilaga 3	Rapport från besök - Kuusankoski
Bilaga 4	Rapport från besök - Lappeenranta
Bilaga 5	Underlag från projekt - Husum
Bilaga 6	Rapport från besök - Mönsterås
Bilaga 7	Rapport från besök - Norrsundet
Bilaga 8	Rapport från besök - Nymölla
Bilaga 9	Rapport från besök - Pori
Bilaga 10	Rapport från besök - Sunila

1. Bakgrund

Tekniken med förbränning i fluidiserad bädd fick sitt kommersiella genombrott under 1980-talet. Fördelarna med fluidbädden ansågs bl a vara miljömässiga – bäddtemperaturen är låg och kemikalier kan tillsättas bädden. Bränsleflexibiliteten är en annan fördel som talade för tekniken.

Fluidbäddtekniken var vid introduktionen, liksom fallet är med det mesta av ny teknik, behäftad med barnsjukdomar. Dessa är i dag huvudsakligen avhjälpta och tekniken får betraktas som beprövad.

Barkpannor vid svenska pappersbruk har en relativt hög medelålder och kan förväntas bli föremål för ombyggnader eller moderniseringar som leder till helt nya pannor. Med stor sannolikhet bedöms huvuddelen av framtidens barkpannor att vara av fluidbäddtyp.

Ett antal pannanläggningar i Norden har byggts om från roster till fluidbädd. Denna konvertering har ofta motiverats av mindre investeringskostnader jämfört med att bygga en helt ny panna.

I ett uppdrag som rapporterats under 1999 (VF rapport 665) finns erfarenheter från tre projekt redovisade där konvertering till bubblande fluidbäddar skett. Denna rapport poängterar vikten av att utfallet av genomförda konverteringsprojekt redovisas.

2. Syfte och omfattning

Detta projekt syftar till att ta fram råd och anvisningar för hur och om en konvertering av en rosterpanna till fluidiserad bädd skall genomföras.

Arbetet har som faktaunderlag innefattat besök vid nio anläggningar där ombyggnader genomförts eller pågår (ett fall). Uppgifter och synpunkter från ytterligare ett pågående konverteringsprojekt har inhämtats.

3. Allmänna aspekter

Då en pannanläggning behöver förnyas finns två alternativ; dels att bygga helt nytt dels att konvertera. En konvertering tycks vara ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ i händelse av att vitala delar såsom dom, överhettare, ekonomiser, pumpar mm kan återanvändas. Samtidigt skall man vara klar på att ombyggnaden av pannanläggningen kan begränsa dess prestanda på olika sätt som exempelvis:

– Begränsning av effekt
– Begränsning av lastområde
– Begränsning av ångtemperatur och -tryck

Dessa begränsningar skall vägas mot de kostnadsbesparingar som kan göras genom att bygga om istället för att bygga nytt. Då alternativet att konvertera en anläggning är aktuellt finns det ett antal allmänna aspekter att reflektera över såsom:

- Planering av ombyggnaden
- Tidsperspektivet
- Befintlig anläggnings status
- Tillgänglighet av energiproduktion under ombyggnaden
- Bränslespecifikationer; nuvarande och framtida

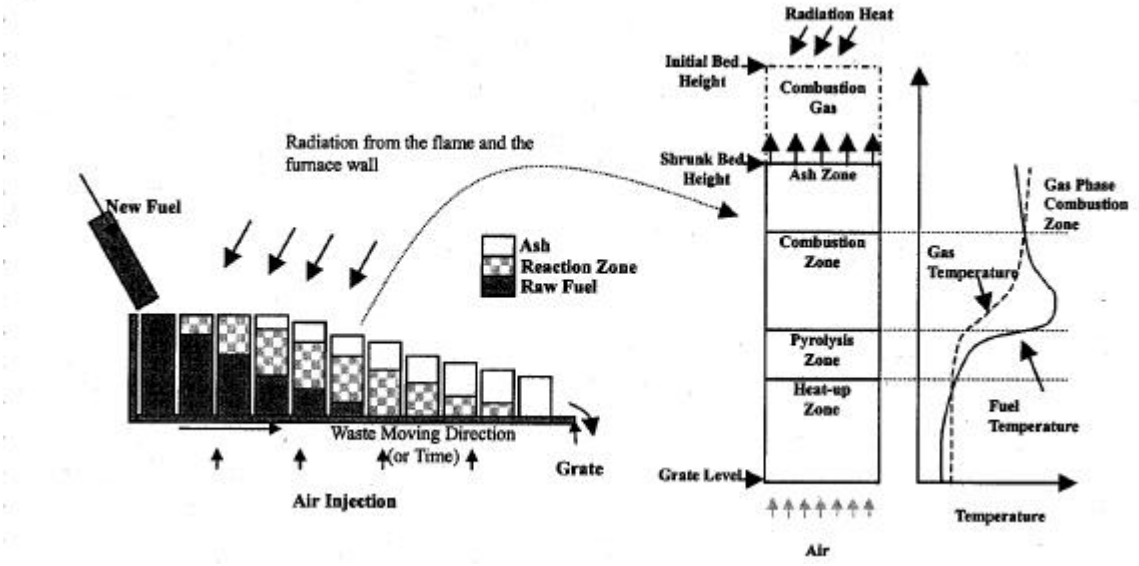
4. Teknikjämförelse mellan roster och fluidbädd

Skälet till att ombyggnader sker och förväntas ske till fluidiserade bäddar är att denna panntyp bedöms ha fördelaktigare egenskaper jämfört med rosterpannor. Nedan ges en kortfattad redovisning över de grundläggande egenskaperna för de båda panntyperna.

Rosterpannor

Rosterpannor har sedan lång tid tillbaka använts för fastbränsleeldning inom såväl industrin som i kommunala energiverk. Inom exempelvis massa- och pappersindustrin är merparten av pannbeståndet rosterpannor (ca 90 %).

En rosterpanna kännetecknas av att den har en förbränningsanordning, en roster, på



Figur 1 Schematisk vy av förbränning i bränslebädd (Källa: Combustion & Flame vol 121)
Schematic view of a combustion bed (Source: Combustion & Flame vol 121)

vilket bränslebädden i tur och ordning torkas, pyrolyseras och slutförbränns. Se principbild, Figur 1. Rostern kan vara plan eller lutande, snedrost. Den kan också vara fast, rörlig eller en kombination av fast- och rörlig. En rörlig roster innebär att rosterstavarna är rörliga med hjälp av hydraulsystem som påverkar bränsleframmatningen. Ofta kan frammatningshastigheten styras i olika sektioner. Under rostern tillförs förbränningsluft i form av primärluft. För slutförbränning i gasförbränningszonen ovan rostern, tillförs sekundär-, tertiär- och ibland kvartär- förbränningsluft på olika nivåer.

För att erhålla en god förbränning med låga emissioner av kolmonoxid och oförbrända kolväten är det viktigt att bränslebädden alltid är jämn samt att frammatningshastigheten anpassas efter bränslekvalitén så att bränslet är slutförbränt när det når rosterns slut innan askutmatningen. Vidare måste förbränningsluften tillsättas med rätt stökiometri på olika nivåer så att bildning av NO_x undviks.

Följande parametrar måste således kunna *kontrolleras och styras* i en rosterpanna;

- *jämn bränslebädd* över hela rostern oavsett last eller bränsletyp
- *rätt stökiometri* i rosterpannans olika zoner för att minimera NO_x-bildningen
- *homogen gasströmning, gaskoncentrationer och temperaturprofil* längs pannans tvärsnitt.

Kraven på övervakning och styrning är således stora för att uppnå gott förbränningsresultat i en rosterpanna. För homogena bränslen med jämn sammansättning och fukthalt är detta relativt lätt att

uppnå. Är förhållandena däremot transienta, vilket ofta är fallet med såväl varierande bränslesammansättning och fukthalt som last, ställs betydligt högre krav på processtyrningen. Rätt murverksegenskaper och stödeldning med stödbrännare krävs också oftast för att kunna hålla uppe förbränningstemperaturen vid höga bränslefukthalter.

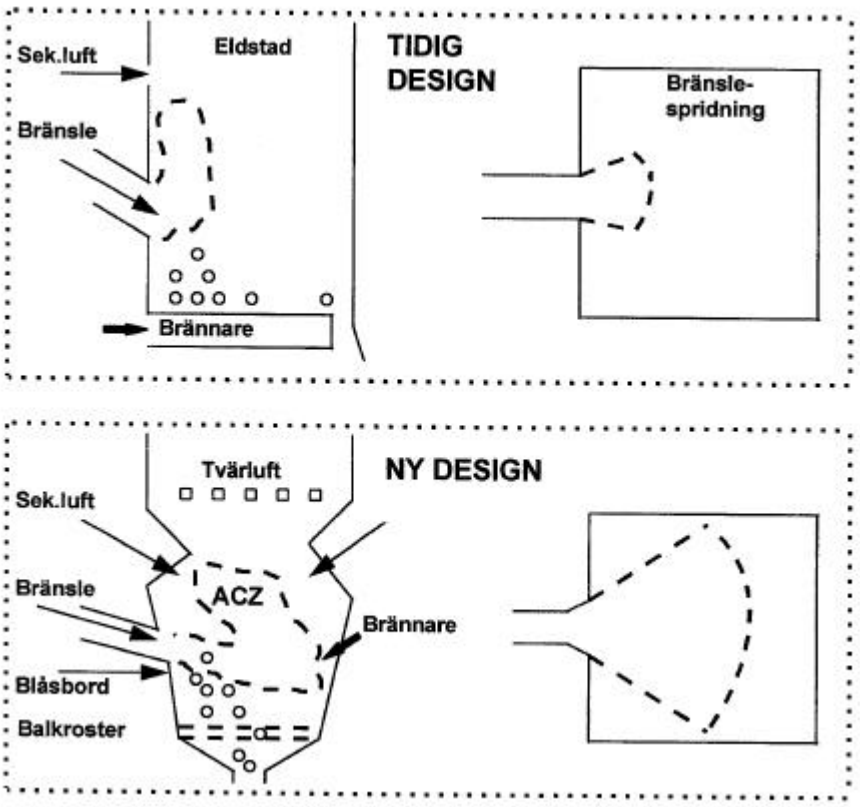
Fluidbäddpannor

Fluidbädden för förbränning introducerades under slutet av 1970-talet och under början av 1980-talet kom genombrottet för tekniken i Sverige. Förbränningsprincipen bygger på att bränslet förbränns tillsammans med ett inert bäddmaterial (sand) som fluidiseras med hjälp av primär förbränningsluft som blåses genom bränslebädden underifrån. Olika typer av additiv exempelvis kalksten eller dolomit kan också tillsättas bädden för att absorbera SO_2 och/eller HCl. Kännetecknande för fluidbäddtekniken är att förbränningstemperaturen är låg, mellan 800-900 °C, vilket är gynnsamt ur emissionssynpunkt med tanke på NO_x-bildning samt upplösningen av mineraler och avgångningen av tungmetaller.

Bränsleflexibiliteten är stor för fluidbäddar beroende på att hett cirkulerande bäddmaterial stabiliserar förbränningen samt att temperaturdistributionen i eldstaden är jämn. Beroende på gashastigheten finns det två typer av fluidbäddar; den *bubblande* med gashastigheter mellan 0,5-3 m/s samt den *cirkulerande* fluidbädden med hastigheter på mellan 2-8 m/s. Den cirkulerande fluidbädden som ursprungligen utvecklades för koleldning i större anläggningar, anses ha den största bränsleflexibiliteten. Den är också regleringsmässigt betydligt snabbare än den bubblande bädden med en mindre mängd bränsle magasinerat i själva bränslebädden. Övriga tekniker som kommit till användning är också trycksatt fluidbädd som exempelvis används i PFBC-konceptet i kombination med gasturbiner för elproduktion.

För våta och varierande bränslekvaliteter har den bubblande bädden visat sig vara lämplig ur driftssynpunkt. Kraven på jämn bränsleinmatning är dock lika stora som för en rosterpanna. Ojämn bränslematning visar sig nämligen i form av stråkbildningar med ojämn strömning, gas- och temperaturprofiler längs pannan. I Figur 2 visas hur man i moderna BFB (Bubblande Fluidbädd)-pannor försett bränsleinmatningen med ett blåsbord som sprider bränslet över en större delen av eldstadens tvärsnitt. Man har också försett eldstaden med två "näsor" genom vilka överluft och återcirkulerad rökgas tillförs. Förträngningen med "näsor" är ju också vanlig för rosterpannor.

Konstruktionsmässigt är den bubblande bädden något mer lik en rosterpanna med sin mer väldefinierade bränslebädd jämfört med en cirkulerande fluidbädd som är mer komplex med cyklonavskiljare och sandåterföring till eldstaden. Detta gör att det generellt bör vara enklare att konvertera en rosterpanna till en bubblande bädd än till en cirkulerande.



Figur 2 *Modern utformning av eldstad i bubblande fluidbädd panna (källa: Kvaerner Pulping AB)*
Modern design of fluidised bed boiler furnace (source: Kvaerner Pulping AB)

5. Motiv för konvertering

Det finns olika motiv för att konvertera en pannanläggning. bortsett från ett övergripande ekonomiskt motiv. Dessa alternativ kan kort sammanfattas:

- Förändring av bränsleval/kvalité t ex ökad slamförbränning
- Krav på ökad kapacitet
- Krav på förbättrade miljöprestanda
- Behov av ny förbränningsanläggning till följd av åldring och minskad tillgänglighet.

Man kan också säga att en konvertering ger en betänketid i väntan på ny teknik, nya bränslen eller politiska beslut innan en stor nysatsning måste genomföras. En närmare beskrivning av de olika motiven följer nedan.

Förändringar av bränsleval och kvalité

Inom skogsindustrins anläggningar är för närvarande behovet av ökad kapacitet för slameldning ett vanligt motiv för ombyggnad. Andra typer av fasta bränslen som spån, pappersavfall, träavfall mm förekommer också i ökad omfattning. Genom att övergå från rosterteknik till förbränning i fluidiserad bädd erhålls bättre möjligheter till slameldning samtidigt med en större bränsleflexibilitet.

Krav på ökad kapacitet

Vid en utbyggnad av en pappers-/massafabrik faller normalt större mängder bark som kan utnyttjas för den egna ånggenereringen. Samtidigt ökar ångbehovet i fabriksprocessen. Är inte pannan fullt utnyttjad för biobränsleeldning utan olja har använts för lasttoppar kan det finnas goda förutsättningar för en kapacitetsökning avseende fastbränsle för ångproduktionen i denna panna, dvs en minskning av oljeandelen i bränslemixen.

Förbättring av miljöprestanda

Inom pappers-/massaindustrin finns många relativt ålderstigna pannor huvudsakligen med roster. Dessa anläggningar har mindre goda miljöprestanda och skulle behöva bytas ut, alternativt modifieras, för att minska emissionerna. I de flesta fall skulle en fluidbädd kunna vara ett alternativ. I stället för att bygga en helt ny anläggning skulle man kunna spara de delar som är möjliga att använda och byta ut den befintliga eldstaden mot en fluidbädd. Detta för att minska emissionerna av bl a NO_x.

Åldring av anläggningen

I det enskilda fallet kan underhållet av en anläggning stiga med drifttiden. Då underhållskostnaden stigit så pass mycket att dessa överstiger årskostnaderna för en ny-investering och dessutom tillgängligheten minskar kan konverteringen vara ekonomiskt motiverad.

De fenomen som fysiskt begränsar de tryckbärande delarnas livslängd är huvudsakligen korrosion, erosion, krypning och utmattning

6. Alternativa konverteringsmetoder

Konvertering av en anläggning kan innebära allt från byggande av i stort sett en helt ny anläggning till olika former av modifieringar. Några möjliga modifieringsalternativ är:

- Ny eldstad i form av en FB med tillhörande fläktar mm.
- Ny eldstad (FB), nya överhettare.
- Ny eldstad (FB), nya överhettare samt utbyggnad av rökgassidan för ökade volymflöden.
- Helt ny panna med rökgasrening, spara transportutrustning, pumpar, rörsystem, etc.
- Endast pannhus, eventuellt med fundament, bibehålls. Helt ny pannanläggning.

Ett alternativ till konvertering, om ångproduktionen i övrigt är tryggad, kan vara att överskottsbarken säljs eller utnyttjas som råvara för pelletproduktion, antingen i egen pelletproduktionsanläggning eller i extern fabrik.

7. Problem vid konverteringar

Beroende på vilka delar av anläggningen som kan användas så kan olika problemområden identifieras. I många fall är det enbart eldstaden och till eldstaden hörande utrustning såsom luftfläktar och bränsleinmatning. Problemområden som kan identifieras vid konverteringar är:

- Oplanerade kostnader
- Förändringar av ångdata/ändrad värmebalans över pannan
- Förseningar
- Upptäckter av skador och annat oförutsett
- Skador efter idrifttagning och driftstörningar

Oplanerade kostnader

Vid konvertering av anläggningar kan två olika kostnader särskiljas. Det ena är de kostnader som har ingått i planen för konverteringen det andra är kostnader som varit oplanerade. Till oplanerade kostnader hör exempelvis:

- Kostnader för ändringar i projektering. Bristfälliga eller icke uppdaterade ritningar (relationshandlingar) kan exempelvis medföra att planerad ledningsdragning måste ändras.
- Kostnader för skador som upptäckts vid demontering, m.m.
- Kostnader som uppstår som följd av demontering av utrustning.
- Stilleståndskostnader som följd av förseningar. Till detta hör exempelvis kostnader för nödvändiga stopp av processdelar i en fabrik.

Förändringar av ångdata

Vid konvertering av en barkpanna med rost till fludbädd måste hänsyn tas till de skillnader som kan uppstå i pannans värmebalans. En rosterpanna kan ha en högre rökgastemperatur ut från eldstaden än en fluidbädd. Dessutom erhålls mindre strålning från en fluidbädd. Det kan också vara så att oljeeldningen hållit uppe ångtemperaturen. Detta medför att överhettartemperaturen kan påverkas negativt eller att regleringen av ångtemperaturen förändras. En lägre rökgastemperatur kan medföra en lägre ångtemperatur ut från pannan om en befintlig överhettare kopplas till en ny eldstad. Motsatsen, dvs att överhettartemperaturen blir för hög, kan också inträffa i synnerhet vid kapacitetshöjningar och ombyggnader av överhettardelarna. Här kan bristerna ligga i kapaciteten hos den ångkylande och slutligt temperaturreglerande vatteninsprutningen.

Förseningar

Det är vanligt förekommande med väl optimistiska tidplaner. En konvertering innebär i regel att mer oväntade problem kan uppträda än vid en mer komplett nybyggnation. Det är också vanligt att det brister i styrningen och uppföljningen av tidsramarna.

Upptäckter av skador och annat oförutsett

I förstudierna inför en ombyggnad kan inte samtliga delar detaljundersökas. Det förekommer därför att skador upptäcks först i samband med demontage av bl a tryckbärande delar.

Skador efter idrifttagning och driftstörningar

I samband med idrifttagning av den ombyggda anläggningen kan problem av följande slag upptäckas:

- Erosion från fluidbäddens sand
- Korrosion
- Blockeringar och fördelningsproblem i bränsle- och askhanteringen
- Problem med för små buffertkapaciteter i bränslesystemet
- Förbränningstekniska problem, exempelvis hög NO_x, CO, bäddtemperatur
- Komponentproblem, exempelvis bristande kvalitet på fläktar

Dessa problem kan emellertid inte betraktas som specifika för konverterade pannor utan förekommer även i helt nybyggda anläggningar.

8. Erfarenheter av konverteringar

De konverteringar som gjorts har medfört utbyte av eldstad samt i regel följande delar:

- Fläktar - för rökgas och luft
- Luftförvärmare
- Bränslehantering i pannhuset
- Stoftrening (elfilter)
- Askhantering
- Reglersystem

I vissa fall har mer omfattande ingrepp i pannan utförts då även överhettare och ekonomiser bytts ut. I samband med dessa ombyggnader har olika problem uppstått som inte ingick i den ursprungliga planen för konverteringen.

I syfte att samla in erfarenheter från ombyggnader till fluidbäddar har besök gjorts vid följande anläggningar för intervjuer och diskussioner med berörd personal:

Anläggningsplats	Ägare	Leverantör
Anjalankoski	Stora Enso	Kvaerner Pulping
Frövi	Assi Domän	Kvaerner Pulping
Kuusankoski	UPM-Kymmene	Kvaerner Pulping
Lappeenranta	UPM-Kymmene	Foster Wheeler
Mönsterås	Södra Cell	Foster Wheeler
Norrsundet	Stora Cell	Foster Wheeler
Nymölla	Stora Enso	Kvaerner Pulping
Pori	Porin Lämpövoima	Kvaerner Pulping
Sunila	Sunila Oy	Foster Wheeler

Uppgifter och synpunkter har också erhållits från Modos fabrik i Husum där Foster Wheeler är leverantör till en nyligen avslutad ombyggnad.

Som synes har leverantörer av konverteringarna varit Kvaerner Pulping i fem fall och i lika många fall Foster Wheeler. Den första av dessa ombyggnader genomfördes 1989 och de sista 2000, se nedan.

Anläggningarna har valts ut i samråd med projektets referensgrupp. Alla pannorna utom de i Pori ingår i pappers- och massabruk. Anläggningen i Pori är ett kommunalägt kraftvärmeverk. De detaljerade resultaten från besöken redovisas i de bilagda rapporterna. I tabell 1 nedan sammanställs några huvuduppgifter som bränslen och ångdata.

Tabell 1 Huvuddata för de undersökta anläggningarna vid enbart biobränsleeldning.
Table 1 Main data for the studied plants at biofuel firing.

Anläggningsplats	Konv.	Data före konverteringen, bränsle och ånga				Data efter konverteringen, bränsle och ånga			
	år	Bränsle	$t_{ånga}$/h	bar	°C	Bränsle	$t_{ånga}$/h	bar	°C
Anjalankoski	1995	Bark	36	87	525	Torv bark trä slam	120	87	525
Frövi	1997	Bark	55	60	480	Bark slam	110	60	480
Husum	2000	Bark	80	36	420	Bark slam	110	36 60	420 450
Kuusankoski	1989	Bark träavfall	160-170	113	525	Bark träavfall slam	160-170	113	525
Lappeenranta	1996	Bark	79	115	530	Bark slam	119	115	500
Mönsterås	2000	Bark	50-51	61	480	Bark slam	90	61	480
Norrsundet	1997	Bark	50-51	61	480	Bark slam	90	61	480
Nymölla	1995	Bark	40	58	475	Bark slam	80	60	485
Pori (P2) (P1)	1994 1996	Bark Torv bark	54 144	112 112	525 525	Torv Bark Torv bark	115 158	112 112	525 525
Sunila, Kotka	1995	Bark	7	65	450	Bark slam	50	65	470

Några kommentarer till ovanstående grova sammanfattning:

Den konverterade pannan i Husum kommer att kunna köras med 60 bar/450 °C men 36 bar/420 °C är gällande driftvärden.

Anledningen till att man i Lappeenranta efter ombyggnaden har lägre ångtemperatur är att korrosionsangrepp uppträder på överhettarna vid högre ångtemperaturer. Man har därför beslutat att gå ner i drifttemperatur i stället för att byta överhettarmaterial.

Vid Nymölla körs normalt ej högre ångtemperatur än 475 °C.

Samtliga anläggningar har byggts om till bubblande fluidbäddar. I ett fall (Kuusankoski) var den ursprungliga pannan pulvereldad medan de övriga var försedda med rost innan ombyggnaden.

Motiv till konverteringen och omfattningen samt kostnader för ombyggnaderna har sammanställts nedan i tabell 2.

Tabell 2 Motiv, omfattning och kostnader för konvertertingen
Table 2 Reason, extent and cost for the conversion

Anläggningsplats	**Ångprod** $t_{ånga}$**/h**	**Huvudmotiv för konverteringen**	**Omfattning**[1] **(nya delar)**	**Kostnad MSEK**[2]
Anjalankoski	120	Bränslepriser, slamförbr.	BFB, fläktar, skrubber, bränsleinmatn, reglersystem	43
Frövi	110	Ökat ångbehov, miljökrav, underhållskostnader, bränsleändringar	BFB, bränsleinmatn. reglersystem	85
Husum	110	Ökat ångbehov, krav på ökad tillgänglighet	BFB, eldstadsväggar, överhettare, konvektionsdel, eko, bränsleinmatning, fläktar, styrsystem, domin-redn. brännare	f. n ej summerat
Kuusankoski	160-170	Barkförbränningskapacitet	BFB, fläktar bränsleinmatn.	okänt
Lappeenranta	119	Barkförbränningskapacitet	BFB, fläktar, bränsleinmatn. två överhettare, eko, lufö, elfilter, reglersystem	77
Mönsterås	90	Bränsleförändringar, trång panna, slamförbr.	BFB, panna (exkl. dom, sidov.), fläktar, pumpar, reglersystem	90 - 100
Norrsundet	90	Bränsleförändr.	BFB, modif. bränsleinmatn., elfilter	30
Nymölla	80	Ökat ångbehov, slamförbr,	BFB, fläktar, bränsleinmatn, eko, lufö, elfilter, mavapump, reglersystem	72
Pori (P2)	115	Minska oljeförbrukningen	BFB, fläktar, bränsleinmatn. elfilter	29
(P1)	158	Minska oljeförbrukningen	BFB, fläktar, bränsleinmatn. elfilter	36
Sunila, Kotka	50	Slamförbr.	BFB, en överhettare, screentuber, sot-blåsare, fläktar, bränsleinmatning	57

1) Grov sammanfattning. BFB = bubblande fluidbädd.
2) För de finska anläggningarna omräknat med 1 SEK = 1,43 Fim.

Ombyggnadskostnaderna för anläggningarna i Anjalankoski, Norrsundet och i synnerhet Pori synes mycket låga i förhållande till de övriga.
De problem som uppstått under ombyggnaden samt med den ombyggda anläggningen redovisas i tabell 3 nedan.

Tabell 3. Problem vid de undersökta anläggningarna - grovt sammanfattat.
Table 3 Problems at the studied plants - rough summary.

Anläggningsplats	**Problem**	
	Under ombyggnaden	**Under drift**
Anjalankoski		Ojämn fördelning av bränsle på bädden, asksmältn.. i eldstad, höga NO_x-halter, erosion i pannbotten, föroreningar i bränsl.
Frövi	Konsulternas engagemang och erfarenhetsåterföring	Eko - åldring
Husum	Leverantörens tidplan sprack p g a brister i leverantörens plan./samord. Brister i värmebal. beräkn.	För hög ångtemperatur vilket begränsar lasten. (Kommer att åtgärdas)
Kuusankoski	Ansamlingen av bark, fel vid prefab. av fallrör	Askutmatning, sandbädden måste bytas regelb. erosion i öh, korrosion i lufö
Lappeenranta	-	Erosion (eko), grus i bränslet, svårt hantera slam
Mönsterås	Ej summerat	Ej idrifttagen
Norrsundet		Hög temp. i bädden, spridn. p g a bränsleinm. Svårt klara CO+NO_x samtidigt
Nymölla	Förseningar i el-/instumentarbeten	Ojämn fördelning av bränsle på bädden, askutmatning, asksmältn. på öh, begränsning i ångkyln.
Pori (P2) (P1)	För många entreprenader.	Hängningar i bränsleficka, askutmatning, erosion (öh), avsaknad av lufö (P1), asksmältn. på öh
Sunila, Kotka	-	Fläktkvalitet, bränslesystem, askutmatning, temperaturövervakn. i bädd

9. Rekommendationer och anvisningar

Vid konvertering av pannanläggningar är det viktigt att åtgärderna föregås av noggranna förundersökningar, lämpliga teknikval och en genomarbetad projektplanering. Det är också viktigt att de upphandlingar som görs baseras på kontrakt med entydiga formuleringar samt klara beskrivningar av leveransgränser och ansvarsområden.

Utgående från informationen från de tio granskade anläggningarna kan följande rekommendationer lämnas när det gäller olika skeden av projektet. Observera att detta naturligtvis inte är en projekthandbok, där projektfaserna beskrivs i detalj, utan en sammanfattning av de synpunkter som framkommit vid kontakter med personalen på anläggningarna.

Primära överväganden

Innan ett projekt eller utredningsinsatser dras igång bör följande frågeställningar redas ut:

- Vilka bränslen skall eldas - mängder, storleks- och innehållsanalyser? Det kan finnas skäl att studera EUs avfallseldningsdirektiv om bränslen av avfallskaraktär avses eldas, exempelvis vissa typer av slam. För närmare information om detta hänvisas till kommande Värmeforskrapport på området från projekt F9-819.
- Den egna personalens arbetsbörda i projektet måste beaktas och vägas mot vinsten av kompetenshöjning och intern erfarenhetsåterföring.
- I vilken omfattning skall externa resurser, som exempelvis konsulter, engageras i arbetet? Konsultinsatser kan vara befogade antingen som resursförstärkning till den egna organisationen eller för specialkompetens.
- Hur uppdaterad är den befintliga dokumentationen av anläggningen som (relations-) ritningar, schemor, specifikationer etc? Eventuellt krävs här en insats.

Förstudier

En förstudie bör innehålla följande delmoment med klarläggande av frågeställningar.

9.1.1 Teknikval - ombyggnad eller nybyggnation - förundersökningar

Följande förutsättningar bör vara uppfyllda för att en ombyggnation skall vara motiverad.

- Pannans tryckbärande delar är i gott skick. Detta gäller vitala delar som framförallt dom men också överhettare eldstadstuber och konvektionsytor med sina samlingslådor. Här krävs således materialundersökningar av den befintliga pannan om detta inte redan gjorts. Ett klarläggande om pannans (ekonomiska) livslängd är önskvärt. Observera att dessa mätningar kan vara bra referensvärden vid framtida bedömningar av erosion och korrosion.
- Pannan klarar bedömd omfördelning av värmeöverföringen eller eventuell kapacitetshöjning. En preliminär genomräkning av pannans värmebalans krävs därmed, med erforderliga beräkningar såväl avseende vatten- och ångsidan som rökgassidan. Det kan bli problem att hålla ångtemperaturen då mindre strålning erhålls från fluidbädden. Rätt eldstadshöjd i den nya pannan är viktigt.
- Utrymme finns i pannhuset för tillkommande utrustning som exempelvis själva bädden, fläktar samt hanteringsutrustning för material till och från pannan. Bedömningen av utrymmesbehovet måste självfallet omfatta erforderliga gång- och transportvägar i anläggningen samt "svängrum" för underhåll.

Underlag för ovanstående bedömningar erhålls bl a från leverantörens budgetofferter.

Tänk på att en ombyggnad av befintlig utrustning kan bli dyrare än att installera nytt om omfattande ändringar och ingrepp måste göras. Vinsten med konverteringen är normalt de betydligt mindre investeringarna jämfört nybyggnad och en snabbare byggtid.

Det är också viktigt att klargöra:

- Hur skall ångproduktionen upprätthållas under ombyggnationen - finns sektioneringsventiler och alternativa produktionsresurser? Kan pannan köras under tiden som ugnen byggs om?
- Vilka krav på startsnabbhet och laständringshastigheter skall ställas? Här spelar principerna för luftförvärmning en viktig roll.
- Kan befintlig sotningsutrustning bibehållas eller måste den ändras/kompletteras? Tänk på att en felplacerad ångsotapparat kan ge upphov till erosion.
- Bränslespecifikationen. Denna måste genomarbetas med uppgifter om bl a :
  - mängder
  - torrhalter
  - värmevärden
  - analyser (elementaranlyser)
  - siktanalys
  - askhalter, -smältegenskaper och -analyser

  Det är viktigt att vara tydlig med om värdena avser torr, askfri substans eller annat. Det är också bra om hastigheten med vilken torrhalten kan variera anges. Spann för värdena liksom framtida förväntade förändringar av bränslesammansättningen skall också anges. Här bör man inte "låsa in sig" i ett smalt bränslespektra.
- Mavapumpens kapacitet. Skall pannkapaciteten ökas måste även mavapumpens hänga med om inte befintliga kombinationer av pumpar är tillräckligt.
- Säkerhetsventilernas kapacitet vid höjning av pannkapaciteten. Dessa måste i så fall antingen modifieras eller bytas.
- Fläktarnas status. Har befintlig rökgasfläkt tillräcklig kapacitet och är den i så fall i gott skick eller måste en ny installeras? Kan befintliga luftfläktar användas?
- Hur långt tillbaks i bränslesystemet krävs åtgärder? Det är stora skillnader mellan en rosterpanna som har en genomloppstid för bränslet på upp mot en halvtimme och en fluidbädd som har genomloppstider i sekundskalan. Här bör övervägas om bränslet skall homogeniseras och vilka konsekvenser detta får för bränslehanteringen.
- Var skall bränsleinblandningar ske? Exempelvis slaminblandning sker lämpligen på band innan pannhus.
- Hur skall brandbekämpning i bränslehanteringen ske. Här kan ånginjicering vara ett alternativ.
- Vilka starter skall vara lokala respektive centrala? Lokala starter är motiverade för t ex askutmatningen för att få en platsbevakning under drift av denna.

9.1.2 Preliminärt schema och layout

- Hur långt tillbaks i bränslehanteringen skall åtgärderna sträcka sig?
- Var läggs gränserna för entreprenaderna?

9.1.3 Budgetanbud från leverantörer

Bör förutom prisuppgifter innehålla preliminära mått- och viktsuppgifter, leveranstider etc.

9.1.4 Planering - tider

Det är viktigt att börja planeringen så tidigt som möjligt innan alltför mycket har hunnit hända och alltför många låsningar har skett. Vikten av planering kan inte underskattas. De tider som planeras i

projektet måste vara realistiska så att alla teknikslag (mek, el, styr, regler etc) får tid för exempelvis utcheckningar. Underlag från tänkta eller utvalda leverantörer är en viktig grund i planeringsarbetet.

9.1.5 Budget

- Uppgifter inhämtas bl a från leverantörernas budgetanbud.
- Kostnader för stillestånd eller alternativ eldning av olja bör inkluderas i budgeten.
- Skall interntid debiteras projektet?
- En reserv för oförutsedda utgifter måste finnas.
- Vilka möjligheter till bidrag finns exempelvis från EU, Värmeforsk, ÅFORSK m fl?

9.1.6 Kontakt med myndigheter

Erforderliga underlag för tillstånd tas fram.

Förprojektering

I ett förprojekt fastställs tekniska parametrar samt kostnadsramar och andra villkor.

9.1.7 Programhandlingar

Som grund för anbudsförfrågan tas bl a tekniska specifikationer fram. Det är viktigt att ställa så mycket information som möjligt till förfogande i programhandlingarna - dock i överskådlig form.

9.1.8 Anbudsgenomgång

Vid genomgång av anbuden beaktas bl a:

- Bränslet. Erfordras bearbetning (krossning), homogenisering, magnetseparering eller siktning av bränslet? Hur stort bränslespann accepteras ? Det är en fördel om exempelvis en flexibel styrning av förbränningsluftens temperatur anordnas.
- Bäddanslutning. Hur långt ner i eldstaden skall pannan kapas och anslutas mot bädden. Tänk på risken för erosion av eldstadstuber.
- Eftereldytorna. Beakta deras utseende. Exempelvis bör sicksack-ställda tuber undvikas med hänsyn till erosionsrisken.
- Ekonomiser. Behövs by-passledning på vattensidan för denna?
- Luftfördelning. Finns möjlighet att sektionera bäddluften så är det positivt.
- Ångtemperaturreglering. Har befintliga system tillräcklig kapacitet?
- Temperaturmätning i bädden. Den bör vara utförd så att givarna når tillräckligt långt in - lämpligen underifrån.
- Bränsleinmatningen är ofta orsak till driftstörningar. Fastlägg buffertbehov i pannhusficka m.m. Normalt bör det räcka till minst en timmes drift. Bedöm hur beprövad den föreslagna tekniken är bl.a. m.a.p. risken för hängning i fickor och stup. Inmatning in till pannan från fler sidor gynnar god fördelning av bränsle på bädden.
- Askutmatningen är också ofta källa till problem. Är denna väl tilltagen i dimension och från tillräckligt antal punkter med erforderlig tvärsnittsarea.
- Reglersystemet. Hur skall detta integreras med det befintliga systemet. Att lägga även säkerhetsförreglingar i datorsystem kan ge problem vid kontroll av systemet.
- Intransport av panndelar. I hur stora delar kan pannan tas in?
- Sandinmatningen. Inmatning direkt till bädden är ett bättre alternativ än till bränsletransportsanordning innan pannan.
- Uppställningsritningar. Granskas bl a m.a.p. utrymmen för service och utrymningsvägar.

– Underhåll/servicevänlighet. Förutom tilltagna utrymmen så kontrolleras även enskilda komponenters egenskaper.
– Underleverantörer. En bedömning av dessas kvalitet behövs liksom en jämförelse med förekommande fabrikat i egna anläggningen i övrigt.

Besök i referensanläggningar är värdefulla.

9.1.9 Övrigt

I förprojektet fastläggs också en anläggningslayout samt bestäms hur projektet skall drivas. Beroende på den egna organisationens styrka och storlek kan totalentreprenad eller mer eller mindre uppdelade entreprenader väljas. Totalentreprenaden kan ge entreprenören ett tydligt funktionsansvar. Å andra sidan kan uppdelningen i många entreprenader ge en lägre totalkostnad och en större möjlighet att påverka utförandet.

Projektering - entreprenadupphandling

När beslut om investering fattats vidtar den egentliga projekteringen. Här ingår bl a:

9.1.10 Slutlig anbudsgranskning

En granskning av leverantörens värmebalansberäkningar eller egna kontrollberäkningar är befogad. Även om leverantören har ett funktionsansvar är det på ett eller annat sätt kostsamt att först vid idrifttagningen kunna konstatera att panncirkulationen eller någon värmeöverföringsyta är feldimensionerad. En genomräkning är i förhållande till senare åtgärder en väl motiverad och relativt billig insats.

9.1.11 Beskrivning av leveransgränser

Detta är en mycket viktig del. För undvikande av missförstånd kan man nästan inte vara för noggrann. Leveransgränserna bör:

- visas i scheman
- beskrivas på ritningar
- beskrivas i text

Det är dessutom viktigt att man på plats förevisar det hela för leverantören i fråga.

9.1.12 Upphandling - kontrakt

Oavsett entreprenaduppdelning är funktionsansvaret grundläggande och viktigt att trycka på. Beställarens ansvar för enskilda befintliga komponenters funktion och prestanda måste dock beaktas.

Leverantören skall redovisa en dokumentationstidplan, dvs tider då ritningar och andra handlingar levereras för granskning av beställaren. Det måste här finnas en rimlig tid för beställarens granskning och utlåtande om layouter, konstruktionslösningar mm.

Det är viktigt att kontrollera att leverantören genomför detaljprojekteringen och planeringen innan montagestart.

Genomförandet av ombyggnaden

9.1.13 Tider

Tiden från beställning till färdig idrifttagen anläggning är normalt runt ett år. Följ upp entreprenörens projekteringsinsatser och tidshållning. Tiden som pannan måste stå helt avställd utan att kunna producera ånga är ofta ca 4-8 veckor. Att genomföra arbetena snabbare kan vara nästan helt omöjligt med hänsyn till den fysiska plats som finns tillgänglig att arbeta på. I ett intensivt skede kan runt 60-70 personer, kanske fler, vara engagerade i montagearbetet.

9.1.14 Montagearbetet

Byggnads- och montagekontrollen är viktig att följa fortlöpande för att inte samla för mycket till slutfasen.

9.1.15 Övrigt

Det är en fördel om leverantörens försäljningssida har en nära koppling till genomförandefasen. Om möjligt bör den som säljer anläggningen vara densamma som leverantörens projektledare. I regel är det dock ofta separata försäljnings- och projektorganisationer med olika kompetenser.

Driftprov

En period med provdrift där varierande förhållanden prövas skall genomföras. Provdriften är avsedd att påvisa att anläggningen har de driftegenskaper och den driftsäkerhet som angivits i avtalet samt också att utbilda beställarens personal på handhavande och underhåll. Det gäller här att verifiera alla de funktioner som garanterats vid olika driftbetingelser exempelvis:

- Olika laster
- Olika bränsletyper även i kombination med oljeeldning
- Sotningsutrustningen
- Styrsystemet
- Säkerhetsfunktioner

Ett prestandaprov där garanterade prestanda kontrolleras genomförs också normalt, ofta enligt DIN 1942.

Övrigt

Utbildning

I projektet ingår naturligtvis utbildning av beställarens personal. Man skall inte underskatta utbildningsinsatserna. Det är en stor skillnad mellan roster och FB-pannor.

Slutdokumentation

Efterhand som nya anläggningsdelar monteras eller innan anläggningen är slutgiltigt övertagen bör ritningar ha justerats så att man får riktiga relationshandlingar. I annat fall kan kommande underhålls- eller ändringsarbeten bli orimligt svåra eller tidskrävande.

Besiktning

En entreprenadbesiktning enligt t ex AB är i regel befogad. Här kan prestandaprovet ingå som en del.

Sammanställning

Nedan görs en sammanfattning av de viktigaste "checkpunkterna" i ett konverteringsprojekts olika skeden.

Tabell 4. Checklista rörande konverteringsprojekt
Table 4 Checklist concerning conversion projects

1. Förundersökningar/planering
▪ Aktuell anläggningsdokumentation (relationshandlingar) tas fram ▪ Bränslespecifikation upprättas - mängder, analyser, spann, ändringshastighet för torrhalten ▪ Skall EUs förbränningsdirektiv tillämpas för de valda bränslena? ▪ Önskade prestanda fastläggs ▪ Tidplanering - baserad på realistiska tidsuppskattningar ▪ Undersökning av pannans tryckbärande delar m a p korrosion, erosion etc ▪ Undersökning av övriga anläggningsdelar som skall bibehållas ▪ Genomräkning av pannans värmebalans ▪ Bedömning av utrymmesbehov ▪ Ombyggnadsgrad eller nybyggnad fastläggs ▪ Ångförsörjning under ombyggnaden ▪ Preliminärt processchema med leveransgränser (entreprenaduppdelning) ▪ Organisation, egna resp. externa resurser
2. Kostnader/budget
▪ Budgetanbud från leverantörer ▪ Interna kostnader, exempelvis egen personal ▪ Kostnader för stillestånd och alternativa bränslen ▪ Bidragsmöjligheter ▪ Kostnader för oförutsett (tillräckliga?)
3. Upphandling av leverantörer
▪ Processchema fastläggs ▪ Bränslespecifikation bestäms - lås ej vid för smalt bränslespann ▪ Leveransgränser fastläggs ▪ Intransport av panndelar planeras ▪ Granskning av leverantörens värmebalanser ▪ Underleverantörer - bedömning/urval ▪ Bränslehantering - finns kritiska punkter? ▪ Askhantering - finns kritiska punkter? ▪ Sotningsteknik ▪ Krav på ökad vatteninsprutning (totalavsaltning-kapacitet) ▪ Anpassning till befintligt reglersystem ▪ Underhåll/servicevänlighet ▪ Funktionsansvaret - befintliga komponenters inverkan ▪ Mavapumpar, säkerhetsventiler - prestanda vid kapacitetshöjning ▪ Tidplaner - glöm inte tider för dokumentleveranser och granskning av dessa

Tabell 4. Checklista rörande konverteringsprojekt (forts.)
Table 4 Checklist concerning conversion projects (cont.

4. Genomförande
▪ Uppföljning av leverantörens planerings- och projekteringsarbete ▪ Byggnads- och montagekontroll ▪ Utbildning - relativt omfattande m h t skillnaden mellan roster och FB
5. Provning
▪ Provdrift med: - olika laster - med olika bränslen - kontroll av garanterade funktioner ▪ Prestandaprovning (enl. exempelvis DIN 1942)
6. Uppföljning
▪ Entreprenadbesiktning ▪ Slutdokumentation - relationshandlingar

10. Förslag till fortsatt arbete

Det kan i anslutning till det genomförda arbetet konstateras ett behov av fördjupade studier. Följande områden har diskuterats med projektets referensgrupp och bedömts som intressanta för fortsatta insatser:

- Miljödatauppföljning av de konverterade anläggningarna.
- Uppföljning av underhållskostnader. Vad har skillnaden blivit i med anledning av konverteringen ?
- Deponeringskostnader. Hur har dessa påverkats av den ökade slamförbränningen.
- Värmebalansberäkning av pannor. Det finns uppenbarligen brister eller ofullkomligheter i de beräkningar som genomförs i dag. Troligen finns här ett utvecklingsbehov.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrierna
- Övrig Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Energimyndighet.

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80 ● Fax 08-677 25 35
http://www.varmeforsk.se