

Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av verksamhetsavfall i Sverige och Europa

Elisabet Blom, Annika Ekvall, Lennart Gustavsson, Kerstin Robertson, Jan-Olov Sundqvist

**Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring
av verksamhetsavfall i Sverige och Europa**

**Experiences of co-combustion and quality control
of industrial waste in Sweden and Europe**

Elisabet Blom, Annika Ekvall, Lennart Gustavsson,
Kerstin Robertson, Jan-Olov Sundqvist

F4-213

Förord

Denna rapport utgör en sammanställning och översikt över erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av avfallsbränslen. Tyngdpunkten ligger på verksamhetsavfall och svenska förhållanden, men även erfarenheter från andra länder i Europa refereras.

En stor del av data och information som rapporteras har insamlats genom intervjuer. Vi vill därför tacka alla som har medverkat genom att bidra med uppgifter och information. Enligt önskemål specificeras olika anläggningar endast med tekniska data.

Vi vill också tacka referensgruppen, Birgitta Strömberg, TPS Termiska Processer AB, Juha Sarkki, Foster Wheeler, Magnus Berg, ÅF Energi & Miljö AB, Hans Nordström, Vattenfall Värme Norden, Lars Dalgren, Fortum Värme AB samt Marianne Gyllenhammar och Inge Johansson, SEP Scandinavian Energy Project AB, som har bidragit med värdefulla tips och synpunkter.

Borås februari 2004

Kerstin Robertson
SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Abstract

I projektet har erfarenheter från hantering och samförbränning av olika avfallsfraktioner sammanställts på ett tillgängligt sätt. Likaså har erfarenheter från kvalitetssäkring av avfallsbränslen samlats in och sammanställts. Information har samlats in genom intervjuer och från publicerat material. Projektet bidrar därmed till att skapa en mer samlad bild och översikt inom området.

Sammanfattning

I ett Europaperspektiv ger samförbränning av lämpliga avfallsfraktioner en möjlighet att minska användningen av fossila bränslen och därmed utsläppen av CO₂. Incitamentet för energiutvinning ur avfallsfraktioner ökar också genom att lagstiftningen kräver alternativ till deponering. Dessutom är intresset för alternativa bränslen stort på grund av att man vanligen kan ta ut en mottagnings- eller behandlingsavgift.

Syftet med denna rapport är att bidra med information om tekniska och driftmässiga erfarenheter från samförbränning i Sverige och andra länder i Norden och Europa och på så sätt bidra med underlag inför beslut om samförbränning.

Insamling av information om samförbränning har skett genom telefonintervjuer samt från rapporter och annat publicerat material och omfattar både svenska och internationella erfarenheter. Förutom erfarenheter från förbränning har även information om materialsammansättning och innehåll samt erfarenheter från bränsleberedning och inmatning, kvalitetssäkring, effekter på utsläpp till luft samt askkvalitet samlats in.

Totalt har erfarenheter från samförbränning av avfallsfraktioner från 20 olika pannor i Sverige insamlats genom telefonintervjuer. Materialet omfattar såväl små som stora rosterpannor och fluidiserande bäddar samt en pulverpanna och en oljepanna. Följande avfallsfraktioner med varierande inblandningsgrad har inkluderats:

- Returträ
- Gummi
- RDF – Papper – Plast
- Animaliska bränslen
- Olivkross

Hantering, beredning och inmatning av avfallsbränslen kan innebära ökad risk för driftstörningar, framför allt stopp i olika typer av utrustningar men även haverier kan inträffa. Motsvarande problem kan uppstå i utrustning för askutmatning.

Förbränning av blandade bränslen ställer vidare höga krav på möjligheterna att reglera förbränningen. Även möjligheterna att styra inmatningen till pannan är av stor betydelse för att understödja en jämn förbränning. Det kan vara en fördel om flera parallella linjer finns. Det är viktigt att olika bränslefraktioner är väl blandade, att de håller så jämn kvalitet som möjligt över tiden samt att styckestorleken är jämn och lämplig.

I många fall har problem med påslag på värmeöverförande ytor samt åtföljande korrosion konstaterats. Bränslets innehåll av bl.a. zink och klor, t.ex. i form av färgrester resp. PVC-plast är här av avgörande betydelse. Förbehandling resp. utsortering av sådant material förbättrar situationen avsevärt. I andra fall kan samförbränning medföra positiva synergieffekter t.ex. beträffande utsläpp.

I de flesta fall tillämpas inte fullständiga kvalitetssäkringssystem för bränslet. Dock används oftast någon form av specifikation för t.ex. värmvärde, styckestorlek, PVC-innehåll, innehåll av CCA-impregnerat virke, som i huvudsak kontrolleras okulärt. Kvalitetssäkringssystem motsvarande de som finns i Finland och Tyskland har ännu inte fått genomslag i Sverige.

Rapporten avslutas med en bedömning av forsknings- och utvecklingsbehovet inom området.

Summary

From a European perspective, co-combustion of certain waste fractions provides a possibility to reduce the use of fossil fuels and consequently the emissions of CO₂. The interest for alternative waste fuels also comes from the possibility to charge a fee for waste treatment. Further, prohibitions on landfilling of combustible waste fraction create a demand for alternative treatment methods.

This report aims at contributing a compilation of information on technical issues and maintenance experiences from co-combustion plants in Sweden and Europe and thus provides a basis for decision-making regarding co-combustion.

Information about co-combustion has been collected by telephone interviews with representatives from Swedish combustion plants and other organisations, both in Sweden and in other countries. Also, information in reports and other publications has been compiled. Besides combustion experiences, information about material quality and contents, fuel production, preparation, handling and quality assurance, fuel feeding to the boiler, effects on emissions to air and ash quality is included.

In total, experiences of co-combustion have been gathered from 20 different boilers in Sweden by telephone interviews. The material includes small to large grate and fluidized bed boilers, one boiler for pulverized fuel and one oil boiler. The following waste types are included:

- Waste wood
- Rubber
- RDF – Paper – Plastic
- Animal residues
- Olive waste

Handling, preparation and feeding of waste fuels to the boiler can result in an increased risk for interruptions and breakdown of equipment. Similar problems can occur in equipment for ash feeding.

Stable combustion of mixed fuels requires good possibilities for adjusting the combustion process. Also, it is important that the feeding of the fuel to the boiler can be regulated. It is often advantageous with two or more parallel fuel feeding systems. Further, it is important that different fuel fractions are well mixed, that the fuel has a stable quality over time, and that fuel particle size is even and suitable.

In several cases, problems with slagging and fouling on heat exchanger surfaces and also corrosion has been experienced. The content of zinc and chlorine e.g. in surface coatings as well as PVC plastics plays a significant role. Sorting out such material as well as pre-treatment improve the situation considerably. In other cases, co-combustion can lead to positive synergistic effects, e.g, concerning emissions.

In most cases, complete QA systems for the fuel are not employed. However, some kind of specification of heating value, PVC content, content of CCA treated wood etc are often used, which are mainly controlled by the eye. QA systems which correspond to those used in Finland and Germany has not yet been established in Sweden.

The report is concluded by an assessment of the need for further R&D within the field.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	1
2	MÅL, SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR	2
3	METOD OCH GENOMFÖRANDE	3
4	NULÄGE OCH POTENTIAL	5
4.1	FÖRBRÄNNINGSKAPACITET	5
4.2	RETURBRÄNSLEN	6
4.3	STRATEGIER I OLIKA LÄNDER	7
4.4	LAGKRAV OCH KVALITETSSÄKRING	9
5	SAMMANSTÄLLNING AV ERFARENHETER.....	11
5.1	EGENSKAPER HOS OLIKA BRÄNSLEN	11
5.2	RETURTRÄFLIS (RT-FLIS).....	13
5.3	GUMMI	17
5.4	RDF – PAPPER - PLAST.....	19
5.5	ANIMALISKT AVFALL	25
5.6	ÖVRIGA AVFALLSBRÄNSLEN	28
6	RESULTATANALYS	29
6.1	BRÄNSLEKVALITET OCH FÖRBRÄNNINGSEGENSKAPER.....	37
6.2	ASKKVALITET OCH DRIFTSTÖRNINGAR.....	40
6.3	RÖKGASRENING.....	42
7	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGSARBETE.....	47
8	LITTERATURREFERENSER	48

Bilagor

A INFORMATIONSSINSAMLING

1 Bakgrund

Samförbränning av sorterat avfall med konventionella bränslen i befintliga förbränningsanläggningar ger en rad olika fördelar. I flera fall kan man minska användningen av olja och andra fossila bränslen vilket minskar emissionerna av växthusgaser [1, 2] – detta kanske dock gäller mer i andra europeiska länder än Sverige eftersom vi huvudsakligen eldar biobränslen. I Sverige skulle däremot energiutvinning ur kvalitetssäkrade avfallsfraktioner kunna bidra till en ökad kapacitet för produktion av värme och el från förnybara bränslen.

Vidare kan avfallsbränslen vara billigare än konventionella bränslen eftersom man oftast kan ta ut en mottagnings- eller behandlingsavgift. Å andra sidan fordras en bränsleberedning och bränslekontroll som kostar mer än för konventionella bränslen. Likaså kan eldning av avfallsbränslen leda till olika driftproblem som askpåslag, ökad korrosion och mekaniska igensättningar.

För att minimera dessa risker kan ett sätt vara att kvalitetssäkra bränslet. Kvalitet är ett begrepp som kan definieras som en produkts förmåga att uppfylla förväntningarna. Det innebär att kvalitet kan betyda olika för olika användare av varan. En förbränningsanläggning som har problem med att det brinner på ”fel” ställen i pannan kan definiera rätt kvalitet som ett avfall som inte innehåller för mycket lätta beståndsdelar som riskerar att flyga upp från en rooster, som t ex plast och papper. En annan anläggning som har problem som kan bero på för högt klorinnehåll, som t ex korrosion, beläggningar eller salt-syreemissioner, kan definiera kvalitet som ett avfall som inte innehåller för mycket PVC. En tredje anläggning är endast intresserad av att man får en storlek och struktur på avfallet som inte orsakar stopp i stup och skruvar. Det som är bra kvalitet för en behöver alltså inte vara det för en annan. Gemensamt för alla dessa fall är alltså att kvalitet är något som får definieras beroende på omständigheterna, t ex pannans utformning och vilka utsläppskrav som finns.

Inom EU betraktas samförbränning som en återvinningsåtgärd, medan konventionell avfallsförbränning, även med förstklassig energiutvinning, betraktas som en bortskaffandeåtgärd (Europadomstolens dom den 13 februari 2003 i mål C-458/00).

Incitamentet för energiutvinning ur avfallsfraktioner ökar också genom att lagstiftningen kräver alternativ till deponering. Å andra sidan motverkas intresset att energiåtervinna även ”rena” avfallsfraktioner genom lagstiftningen om avfallsförbränning som ställer höga krav på förbränningsanläggningarna avseende teknisk utrustning, reglering och övervakning då avfall förbränns. Liknande villkor ställs fullt ut från 2005 för avfallsförbränningsanläggningar och andra förbränningsanläggningar i vilka endast någon avfallsfraktion förbränns tillsammans med biobränsle eller fossilt bränsle. Några andra tänkbara hinder för samförbränning av avfallsfraktioner i fastbränslepannor är tillgång på bränsle, tekniska förutsättningar och opinion [1].

2 Mål, syfte och avgränsningar

Syftet med denna rapport är att bidra med information om tekniska och driftmässiga erfarenheter från samförbränning i Sverige och andra länder i Norden och Europa och på så sätt bidra med underlag inför beslut om samförbränning. Erfarenheter av kvalitets-säkring av inkommande bränsle och hur bränslet påverkar inmatning, förbränning och rökgasrening m.m. har så långt möjligt inhämtats. Vidare identifieras forsknings- och utvecklingsområden.

Med samförbränning avses här förbränning av material som definitionsmässigt är avfall tillsammans med traditionella bränslen i första hand i fastbränslepannor. Samförbränning kan, enligt EU:s avfallsförbränningsdirektiv, även innebära enbart förbränning av kvalitetssäkrade avfallsfraktioner, d.v.s. utan inblandning av traditionella bränslen. Detta gäller under förutsättning att huvudsyftet med förbränningen är produktion av värme eller el.

Observera att de underlag och råd som sammanställts inte gör anspråk på att vara fullständiga eller uttömmande utan är att betrakta som bidrag till kunskapsspridning inom området.

3 Metod och genomförande

Insamling av erfarenheter från samförbränning har skett genom telefonintervjuer (Bilaga A) samt från rapporter och annat publicerat material. Intervjuerna, som har genomförts på svenska eller engelska, har skett med kontaktpersoner med kunskap om driften av olika anläggningar. Intervjuerna omfattade följande:

- Typ av panna/anläggning
- Typ av avfallsbränsle och annat bränsle, inblandningsgrad, bränsleegenskaper
- Kvalitetssäkring av bränslet
- Tillstånd
- Metod och erfarenheter av inmatning och blandning,
- Eventuella effekter på förbränning och verkningsgrad
- Driftstörningar (påslag, avlagringar, sintring, korrosion, ev. annat)
- Emissioner till luft
- Askkvalitet, askhantering, användning.

Materialet omfattar erfarenheter från samförbränning av avfallsfraktioner vid totalt 20 olika pannor i Sverige (Tabell 1). Bland dessa återfinns såväl små som stora rosterpannor och fluidiserande bäddar samt en pulverpanna. Dessutom har en oljepanna inkluderats. Även erfarenheter i publicerade rapporter refereras. Informationen som har insamlats genom telefonintervjuer återges i texten i sammanställd form utan direkt referens till specifika anläggningar på önskemål av vissa anläggningsägare.

Erfarenheter från andra länder har insamlats genom intervjuer med representanter för olika organisationer och företag samt genom olika typer av tryckt och publicerat material. De uppgifter som återges i rapporten är en sammanställning av den information som insamlats från de organisationer som återfinns i Bilaga A och information i publicerat material.

Tabell 1. Översikt över användningen av avfallsbränslen i olika typer av pannor (CFB=cirkulerande fluidiserande bädd, BFB=bubblande fluidiserande bädd, RDF="Refuse Derived Fuel", PWT=papper-well-trä, PTP=papper-trä-plast, BiomalTM= malda, ej torkade animaliska restprodukter).

Table 1. Overview of the use of waste fuels in different boilers (CFB=circulating fluidised bed, BFB=bubbling fluidised bed, RDF=refuse derived fuel, PWT=paper-corrugated cardboard-wood, PTP=paper-wood-plastic, BiomalTM=ground, not dried animal residues).

Panna	RT	Gummi	Papper	Plast	Kött- och benmjöl	Övrigt	Ord. bränsle
Roster 6 MW			X	X			skogsflis, bark, torrflis
Roster 8 MW			kartong	X			torrflis
Roster 12 MW	X					slipers	-
Roster 14 MW	X		X	X			trä
Roster 55 MW	X		returpappersslam, papp				bark
Roster 65 MW	X		PWT	X	X		bio
Roster 90 MW			PTP	PTP			PTP
Roster 80 MW	X	X	RDF	RDF			kol
Roster 90 MW	X	X					trä
Roster 125 MW		X					kol
CFB 16 MW	X		X	X			trä
CFB 40 MW					Biomal TM		torv, flis
BFB 70 MW	X		X	X			bark
CFB 90 MW		X					trä
CFB 90 MW			PTP	PTP			PTP
BFB 70 MW	X						-
CFB 160 MW	X						bio
CFB 170 MW						slipers	stycketorv, trä
Oljepanna 150 MW						animaliskt fett	olja
Pulverpanna 260 MW					köttmjöl	olivkross	torv, kol

4 Nuläge och potential

4.1 Förbränningskapacitet

Potentialen för samförbränning i olika Europeiska länder har bl.a. uppskattats genom en jämförelse mellan tillgången på avfall och kapaciteten för kolförbränning [1]. Om 30 % av avfallsflödena i olika länder antas vara tänkbara för samförbränning räcker detta för att ersätta i storleksordningen 40 % av nuvarande kolförbränning, vilket motsvarar ca 450 PJ (Tabell 2). I vissa länder är kapaciteten för förbränning av kol begränsande och i andra är det tillgången på avfall som begränsar potentialen.

Tabell 2. Potentialen för samförbränning i olika länder [1].

Table 2. The potential for co-combustion in different European countries [1].

	Avfall, 30% av total mängd (PJ)*	Kolförbränning, aktuell användning (PJ)	Potentiell ersättning av kol (PJ)	Potentiell ersättning av kol (%)
Belgien	17	20	17	85
Danmark	8	30	8	27
Finland	15	10	10	> 100
Frankrike	111	40	40	> 100
Grekland	17	140	17	12
Irland	9	7	7	> 100
Italien	102	20	20	> 100
Luxemburg	5	1	1	> 100
Nederländerna	24	20	20	> 100
Portugal	16	10	10	> 100
Spanien	58	100	58	58
Storbritannien	123	180	123	68
Sverige	17	4	4	> 100
Tyskland	113	560	113	20
Österrike	12	6	6	> 100
Totalt	646	1140	454	40

*PJ=PentaJoule (10^{15} Joule).

Förutsättningarna varierar alltså avsevärt mellan olika länder. I Sverige och andra länder där kol inte dominerar som bränsle ger detta naturligtvis inte en rättvis bild av rådande förhållanden. Situationen i Sverige är snarare den att samförbränning ger en möjlighet att skapa mer utrymme för förbränning och energiutvinning ur vissa avfallsfraktioner så att gällande och kommande deponiförbud kan följas [3]. De bränslen som ersätts vid samförbränning är snarare bibränslen än fossila bränslen. Alternativt bidrar energiutvinning ur kvalitetssäkrade avfallsfraktioner till en möjlighet att öka produktionen av värme och el från förnybara bränslen.

Kapaciteten (i form av avfallsförbränningsanläggningar) för energiutvinning ur det brännbara och organiska avfallet är dock betydligt mindre än behovet om deponiförbudet ska kunna följas år 2005 [4]. Idag lämnas dispens för fortsatt deponering i många kommuner eftersom förbränningskapacitet saknas [5].

I vissa andra länder skulle förutom kol även användningen av andra fossila bränslen, exempelvis olja, kunna minska genom ett ökat utnyttjande av avfallsbränslen.

4.2 Returbränslen

I standardiseringsarbetet inom CEN (se 5.8) används begreppet ”Solid Recovered Fuel” för returbränslen [6]. Vidare används begreppet RDF (Refuse Derived Fuel) och andra beteckningar för olika typer av returbränslen i olika länder. Inga enhetliga definitioner av dessa begrepp finns. Några svenska och engelska benämningar som har dykt upp för fasta returbränslen i olika sammanhang under denna studie (observera att detta endast är exempel på hur olika begrepp kan användas) återfinns i Tabell 3.

Tabell 3. Benämningar på några avfallsfraktioner för energiutvinning.

Table 3. Terms for some waste fractions for energy recovery.

RDF	Refuse Derived Fuel	Utsorterad brännbar fraktion från hushålls- eller verksamhetsavfall
REF	Recovered Fuel	Brännbar fraktion från hushållsavfall, vanligen källsorterad
SRF	Solid Recovered Fuel	Utsorterad brännbar fraktion från verksamhetsavfall
PDF	Packaging Derived Fuel	Källsorterad förpackningsfraktion
PPF	Paper and Plastic Fraction	Källsorterad fraktion ur hushållsavfall
PEF	Process Engineered Fuel	Källsorterad, beredd fraktion ur hushållsavfall
	Secondary Fuel	Sorterad fraktion ur verksamhetsavfall
TDF	Tyre Derived Fuel	Däck
PTP	Papper, Trä, Plast	Sorterad fraktion ur verksamhetsavfall
PWT	Papper, Wellpapp, Trä	Sorterad fraktion ur verksamhetsavfall

Utöver dessa beteckningar förekommer även att olika fraktioner pelleteras. Följande processer kan användas för beredning av returbränslen [7]:

- Källsortering
- Eftersortering och mekanisk sortering/separering, t.ex. sållning och magnetseparering
- Rivning, klippning, malning
- Blandning
- Torkning, pelletering

I en mekanisk-biologisk förbehandlingsanläggning sorteras hushållsavfall ofta i fyra olika fraktioner: metaller för återvinning, organiskt för kompostering eller rötning, papper och plast för materialåtervinning och en restfraktion (RDF) för energiåtervinning som huvudsakligen består av papper, plast och textilier [7].

RDF kan också produceras genom en torr stabiliseringsprocess i vilken avfallet torkas i en komposteringsprocess efter att metaller och andra icke brännbara material avskiljts. PDF och PEF (Tabell 3) håller vanligen högre kvalitet än RDF berett enligt ovan.

I ett europeiskt perspektiv bedöms följande typer av pannor vara intressantast för samförbränning av avfall med traditionella bränslen (framför allt kol) [1]:

- Fluidiserad bädd
- Rosterpannor
- Pulverpannor
- Cyklonpannor

Potentiella och faktiska användare är [6]:

- Värme- och kraftverk
- Cementugnar
- Kalkugnar
- Järn- och stålindustrin
- Annan metallindustri
- Tegelindustrin

4.3 Strategier i olika länder

EU:s avfallsstrategi går ut på att avfallsmängderna i första hand ska minska, därefter prioriteras återanvändning, materialåtervinning och energiåtervinning. Som sista alternativ får avfall deponeras.

Det regelverk som styr avfallsströmmarna är bl.a. deponeringsdirektivet (1999/31/EC) och avfallsförbränningsdirektivet (2000/76/EC). Direktiven implementeras successivt i nationell lagstiftning med olika variationer. Olika typer av förbud mot deponering av brännbart och organiskt avfall har i några länder redan trätt i kraft (2002) och träder i många andra länder i kraft 2005.

Avfallsförbränningsdirektivet omfattar nya anläggningar sedan december 2002 och träder i kraft för befintliga anläggningar i december 2005. De nya krav som måste följas är bl.a.

- Förbränningsgaserna måste uppnå 850°C under minst 2 sekunder. (Tillstånds- eller tillsynsmyndigheten får medge undantag om villkoren för utsläpp till luft ändå kan uppfyllas)
- Det måste finnas ett bränsleinmatningssystem som automatiskt stoppar tillförseln av avfall om ovanstående villkor inte uppfylls.
- Kontinuerliga mätningar ska utföras av NO_x, CO, TOC, stoft, HCl, HF och SO₂ samt temperatur, O₂, tryck och halt av vattenånga. (Undantag får medges för HCl, HF och SO₂ och vattenånga)
- Villkor för NO_x, CO, TOC, stoft, HCl, HF och SO₂, metaller, dioxiner och furaner.
- Ökade krav på dokumentation, rapportering och kontroll.

Hantering av animaliska biprodukter regleras i hela EU av den gemensamma s.k. biproduktsförordningen eller ”Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 av den 3 oktober 2002 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter som inte är avsedda att användas som livsmedel”. Viss detaljreglering sker i Statens jordbruksverks föreskrifter (SJVFS 1998:34) om hantering av djurkadaver och andra animaliska biprodukter.

4.3.1 Sverige

I Sverige finns många avfallsförbränningsanläggningar för i första hand fjärrvärmeproduktion där man förbränner hushållsavfall och annat brännbart avfall. På grund av förbuden mot deponering av brännbart avfall (2002) och organiskt avfall (2005) finns ett stort behov att styra om avfallsströmmar till material- och energiåtervinning. Kapacitet för energiåtervinning saknas dock [4, 5] och utbyggnad pågår. Samförbränning av olika avfallsfraktioner med traditionella bränslen i fastbränslepannor är ett alternativ för energiåtervinning.

I Sverige förekommer källsortering av hushållsavfall i organisk och brännbar fraktion i några kommuner. Detta material går till kompostering respektive avfallsförbränning. Eftersortering och beredning för förbränning i andra förbränningsanläggningar förekommer inte. I det följande behandlas därför inte samförbränning av hushållsavfall.

Returbränslen som samförbränns i förbränningsanläggningar i första hand avsedda för biobränslen eller fossila bränslen utgörs av olika typer av verksamhetsavfall:

- returträ
- gummi
- plastrejekt från mjölkkartonger, m.m.
- papper-plast-trä (bl.a. under beteckningarna PTP; papper/trä/plast, PWT; papper/wellpapp/trä, RDF; refuse derived fuel)
- returfiberslam
- kött- och benmjöl samt BiomalTM (malda, ej torkade animaliska restprodukter)
- animaliskt fett (flytande)
- olivkross

Rapporten fokuseras i det följande på dessa typer av avfall. Ytterligare returmaterial har proveldats i kortare försök, bl.a. plastförpackningar från hushållen.

4.3.2 Översikt över samförbränning inom EU

Många olika typer av avfallsbränslen används i olika typer av förbränningsanläggningar i Europa. Bortsett från fraktioner från hushållsavfall förbränns följande fraktioner från industri- och verksamhetsavfall: plast, papper/kartong, förpackningar (inklusive rejekt från tillverkning), däck, halm m.fl. bränslen från jordbruk, kött- och benmjöl, returträ, avloppsslam, textilt avfall, fraktioner från bilfragmentering samt olika typer av brännbart farligt avfall [8, 9]. Mycket erfarenhet finns från samförbränning i cementugnar, men även i viss mån från andra typer av förbränningsanläggningar, framför allt kol-kraftverk.

Vid förbränningsanläggningar på kontinenten produceras, till skillnad från Sverige, i första hand el eftersom motsvarande fjärrvärmeunderlag saknas [8, 10, 11]. Dessutom används i mycket högre grad fossila bränslen, framför allt kol. Österrike utgör här ett undantag, där finns både mera biobränsle att tillgå och ett större fjärrvärmeunderlag. Samförbränning i värme- och/eller kraftverk förekommer i varierande omfattning i Österrike, Tyskland, Nederländerna, Belgien, Frankrike, Storbritannien samt i Finland och

Sverige [8, 6]. Samförbränning planeras i Italien och Portugal. I Nederländerna bedöms ökad samförbränning i första hand vara lämpligt för industriavfall [12]. I flera länder är samförbränning av avfallsfraktioner också vanligt i pappers- och massaindustrins anläggningar samt inom järn- och stålindustrin.

4.3.3 Finland

Också i Finland ser energisystemet annorlunda ut jämfört med Sverige trots det liknande klimatet. Där är flertalet förbränningsanläggningar kraftvärmeverk för produktion av både värme och el. Till skillnad från exempelvis Sverige produceras endast mindre mängd el i kärnkraftverk eller vattenkraftverk varför det är angeläget att det värmeunderlag som finns utnyttjas för elproduktion.

Avfall förbränns framför allt i dessa kraftvärmeverk. Avfall som går till förbränning är huvudsakligen verksamhetsavfall, men i viss mån också hushållsavfall, och de fraktioner som kvalitetssäkras är plast, papper, kartong och trä [7, 13, 14]. En Finsk standard för kvalitetssäkring av returbränslen finns. Generellt sett sker en noggrann kvalitetssäkring så att avfallsbränsle av hög kvalitet produceras [15]. Erfarenheter från samförbränning har studerats inom ett stort FoU-program: ”Waste to Energy” som genomförts i samverkan med Nederländerna [13, 14].

Endast en anläggning för förbränning av blandat avfall såsom hushållsavfall finns. Blandat avfall av lägre kvalitet som inte energiåtervinns deponeras. EU:s deponeringsdirektiv och avfallsförbränningsdirektivet innebär dock att avfallshanteringen i Finland måste förändras. Stora mängder blandat avfall måste då omhändertas på annat sätt än genom deponering eller förbränning eftersom deponering blir förbjudet och värmeunderlaget inte räcker till för ytterligare förbränning av blandat avfall.

Trots att det avfall som förbränns är kvalitetssäkrat och därmed jämförelsevis rent måste förbränningsanläggningarna uppfylla kraven i avfallsförbränningsdirektivet. Detta innebär nu att flertalet anläggningar måste kompletteras bl.a. med ytterligare rökgasrening.

4.3.4 Danmark

I Danmark är erfarenheterna av samförbränning i värmeverk och värmekraftverk begränsade. Liksom i Sverige och Finland finns ett utbyggt fjärrvärmeunderlag i Danmark. Detta utnyttjas för avfallsförbränning och för kraftvärmeverk [10, 11]. Vissa erfarenheter av samförbränning av kött- och benmjöl har inhämtats. Mindre mängder av andra avfallsfraktioner rapporteras ha proveldats [8].

4.3.5 Norge

Fjärrvärmeutbyggnaden är begränsad i Norge och den kapacitet som finns domineras av avfallsförbränning. I Norge finns endast mycket begränsade erfarenheter från samförbränning av annat än returträ.

4.4 Lagkrav

Befintliga samförbränningsanläggningar i Sverige drivs idag i enlighet med tillstånd enligt Miljöbalken eller den tidigare Miljöskyddslagen. Fr.o.m. december 2005 träder villkoren i EU:s avfallsförbränningsdirektiv i kraft för dessa anläggningar. För nya anläggningar tillämpas reglerna i avfallsförbränningsdirektivet sedan december 2002.

5 Sammanställning av erfarenheter

5.1 Egenskaper hos olika bränslen

Vid samförbränning påverkas förbränningen och driften av anläggningen av olika egenskaper hos de olika bränslena. Några faktorer som är viktiga att ta hänsyn till tas upp nedan.

5.1.1 Värmevärde

Om inget annat anges i denna rapport avses effektivt värmevärde, d.v.s. värmevärde med hänsyn taget till fukttinnehållet i bränslet. Det effektiva värmevärdet för olika bränslen varierar med energiinnehållet i olika material och med fukthalten. Olja, gummi och vissa plaster har vanligtvis höga effektiva värmevärden på över 30 MJ/kg. Biobränslen har vanligtvis effektiva värmevärden mellan 13-15 MJ/kg. Detta kan jämföras med ett typiskt värde för obehandlat hushållsavfall, 11 MJ/kg.

Enligt förslag kan begreppet brännbart avfall, avseende askor och slagg, definieras som material med ett effektivt värmevärde på 6 MJ/kg eller högre.

5.1.2 Fukthalt

Fukthalten har inte bara betydelse för bränslets effektiva värmevärde utan är också av betydelse för möjligheterna att lagra olika bränslen på ett säkert sätt och för risken för damning. För hög fukthalt i vissa organiska bränslen och biobränslen kan exempelvis leda till biologisk aktivitet som ger metanproduktion vilket kan leda till explosionsrisk om bränslet förvaras i tankar, samt till självantändning vid lagring i hög. Även för låg fukthalt kan leda till risk för dammexplosioner och självantändning.

5.1.3 Förbränningsegenskaper

Olika material brinner olika beroende på innehållet av vatten, flyktiga brännbara föreningar, andelen koksförbränning och askhalt. I praktiken påverkas även förbränningen av bränslets styckestorlek och förbränningstemperaturen [17]. När material med olika förbränningsegenskaper samförbränns påverkas m.a.o. förbränningen och temperaturfördelningen i pannan av de olika materialens egenskaper.

Gasförbränning

Ju lägre fukthalt, ju högre innehåll av flyktiga brännbara ämnen och ju mindre styckestorlek, desto snabbare antänds bränslet. Stor andel flyktiga beståndsdelar innebär även stor andel gasförbränning, d.v.s. mer förbränning högre upp i pannan än då innehållet av bundet kol är högt och koksförbränning dominerar. Detta påverkar temperaturfördelningen i pannan samt behovet av lufttillförsel i olika steg. Biobränslen och olja innehåller stor andel flyktiga ämnen. Plast har liknande förbränningsegenskaper som olja.

Koxförbränning

I kol (bränslet), dominerar förekomsten av bundet kol (kolföreningar), som huvudsakligen brinner som koks. Kol antänds därför och brinner långsammare än olja och bio-bränslen som till stor del brinner i gasfasen. Gummi har liknande förbränningsegenskaper som kol. Förbränningen sker också huvudsakligen på rostern eller i bädden i FB-pannor.

5.1.4 Ämnen och föroreningar i avfallsbränslen

I jämförelse med fossila bränslen och biobränslen kan olika avfallsbränslen innehålla förhöjda halter av tungmetaller, organiska föreningar, klor (Cl), fluor (F), brom (Br), svavel (S) och kväve (N) som medför risk för förhöjda emissioner till luft. Även biobränslen kan innehålla relativt höga halter kväve medan kol kan innehålla höga halter svavel (S) [17].

Alkali

Biobränslen innehåller dessutom mera s.k. alkalimetaller och alkaliska jordartsmetaller (natrium Na, kalium K, magnesium Mg och kalcium Ca) som bidrar till ökad risk för sintring och påslag och därmed korrosionsangrepp [17]. I synnerhet kalium har identifierats som en betydande orsak [8]. Förekomsten av natrium (Na) i olika bränslen är vanligtvis lägre än K, men det beter sig ungefär på samma sätt. Med alkali avses kalium (K) och natrium (Na).

Kalcium (Ca) bidrar framför allt till beläggningsproblem vid temperaturer över 900°C då CaO frigörs från eldstaden och fastnar på kallare tubbytor där sedan ytterligare kemisk sintring till hårda karbonater och sulfater kan ske.

Andra metaller

Ytterligare metaller som kan bidra till påslag och sintringsproblem är: aluminium (Al), järn (Fe), bly (Pb), zink (Zn), nickel (Ni) och vanadin (V) [8, 17, 18, 19].

Andra ämnen och föreningar

Andra ämnen som kan bidra är: kisel (Si), klor (Cl), svavel (S) och fosfor (P). Dessa ingår ofta i olika föreningar/salter (klorider Cl⁻, sulfater SO₄²⁻, karbonater CO₃²⁻, fosfater PO₄³⁻) av ovanstående metaller eller bundna i organisk form [8, 17].

Klor

Eftersom alkaliklorider har lägre förångningstemperatur än t.ex. oxider och karbonat gör klor att alkalikloriderna förångas till gasfasen, vilket vållar olika problem med påslag etc [8]. Klor av både oorganiskt och organiskt ursprung kan vidare bilda HCl och salter (klorider) som kan orsaka svåra korrosionsangrepp exempelvis på överhettare. Problemen kan förvärras av förekomst av svaveldioxid (SO₂) och höga temperaturer [17]. Om å andra sidan förekomsten av svavel är mycket större än förekomsten av klor kan olika metaller i första hand bilda svavelföreningar med hög smältpunkt vilket kan leda till mindre problem med påslag.

Kisel

Kisel tycks framför allt vara reaktivt vid närvaro av kalium (K) då lågsmältande kaliuminnehållande silikater kan bildas [8].

Sammanfattningsvis kan ett stort antal ämnen förekomma i olika typer av avfall som kan påverka driftsäkerhet och miljöprestanda i olika förbränningsanläggningar. Kunskapen om de kemiska reaktioner som är inblandade och orsakar problem med påslag på olika ytor och korrosion är dock bristfällig trots att flertalet av de ämnen som medverkar är kända.

5.2 Returträflis (RT-flis)

Erfarenheter från förbränning av returträflis har inhämtats från litteraturen samt från totalt 10 pannor varav 6 rosterpannor (12-125 MW) och 4 fluidbäddpannor (16-160 MW) (Tabell 4). Dessutom refereras erfarenheter av förbränning av slipers från 2 pannor.

Tabell 4. Erfarenheter av förbränning av RT-flis och slipers i olika pannor.

Table 4. Experiences of combustion of waste wood in different boilers.

Inblandningsgrad (% av värmeverde)	Övrigt bränsle (% av värmeverde)	Panna
100 % (*)	*RT, slipers eller blandning	Roster, 12 MW
40 %	RDF (trä, papper, plast, mm) 40 % Plastrejekt 20 %	Roster, 14 MW
≤ 40 %	Returpappersslam Bark	Roster, 55 MW
30-50 %	Bark Plastrejekt 25 %	Roster, 65 MW
10 %	Gummi 35-38 % Kol	Roster, 80 MW
100 %	-	Roster, 90 MW
80 %	Plast 10 % Papper 10 %	CFB, 16 MW
15-20 %	Bark	BFB, 70 MW
100 %	-	BFB, 70 MW
10 %	Blandat biobränsle	CFB, 160 MW
10 % (slipers)	Stycketorv 30-35 % Träbränsle	CFB, 170 MW

5.2.1 Materialsammansättning och innehåll

Returträflis (RT-flis) har ett värmeverde på omkring 15-17 MJ/kg vid en fukthalt på 10-15 %. Om behandlat eller impregnerat trä ingår kan materialet innehålla tungmetaller (bl.a. arsenik, bly, zink, koppar och krom), klorerade organiska föreningar och andra toxiska föreningar [17, 19, 20, 21, 22]. RT-flisen kan vidare innehålla mindre plastfraktioner, metaller av olika slag och andra material. Damningsproblem förekommer i samband med hantering och lagring.

Zink och bly, som ofta finns i RT-flis, har visat sig medverka till bildning av påslag, vanligtvis i form av klorider [20]. Också förekomsten av alkali, Ca, K, Na och Mg samt Cl, S, P i trä bidrar till problemen. Även Si, Al och Ti förekommer i mera tillgängliga

och reaktiva former i biobränslen än i fossila bränslen. I rena träfraktioner, är dock innehållet av dessa ämnen lågt [8].

Slipers har en genomsnittlig fukthalt på 35 % och ett effektivt värmevärde på ca 11-12 MJ/kg. Värmevärdet är något högre än för rent trä p.g.a. kreosotimpregneringen.

5.2.2 Erfarenheter från förbränning

I tidigare studier har konstaterats att påslag på värmeöverförande ytor är ett vanligt problem i olika typer av förbränningsanläggningar vid förbränning av RT-flis [17, 20, 21]. Med detta följer också ökad korrosion. Förutom de element som bidrar till dessa problem vid förbränning av biobränslen (bl.a. kalcium, kalium och svavel) återfinns även zink, bly och titan i påslagen. Balansen mellan zink, bly, svavel, klorid och alkalimetaller tycks vara avgörande för bildningen av påslag och korrosionsproblem, men det är inte klarlagt i detalj hur dessa förhållanden ser ut [18, 22].

I några fall har en mindre mängd RT-flis (≤ 20 %) eldats tillsammans med biobränsle eller fossilt bränsle. Förbränning av en mindre andel RT-flis, 15-20%, huvudsakligen med bark 80% i BFB-panna (70 MW) bedöms i stort fungera bra. Den torrare RT-flisen kompenserar fukttinnehållet i barken. För stor inblandningsgrad kan dock leda till hög temperatur i pannan med sintringsproblem som resultat. Detta kan naturligtvis ske oavsett bränsle. Vissa problem med blästereffekter på och erosion av tuber efter förbränningen har uppkommit, men bedöms vara en mer generell effekt av sandbädden, dock i kombination med ”skräp” i barkbränslet och RT-flisen.

Vid inblandning av en mindre mängd RT-flis (10 %) till biobränsle (bark, sågspån, skogsflis, stycketorv) i en större CFB-panna (160 MW) har dock vissa problem med påslag och korrosion uppstått, vilket orsakat extra stopp för underhåll. För övrigt har förbränning och verkningsgrad varit tillfredställande. Vid en studie av beläggningshastigheten (BFB-panna, 70 MW) vid överhettarna med hjälp av beläggningssond fördubblades beläggningarnas tillväxthastighet vid inblandning av 20 % RT-flis till referensbränslet (bark och träflis) [23].

Betydande korrosionsproblem har uppkommit vid flera anläggningar, t.ex. vid samförbränning av ca 10 % RT-flis med gummi och kol i rosterpanna (80 MW). Den höga svavelhalten i gummi är en bidragande orsak. Korrosionsproblemen består av högtemperaturkorrosion i pannan och bedöms bero på det samlade innehållet av S, Cu och Cl i bränslet. Korrosionsproblemen finns även i rökgaskanalerna. I synnerhet i s.k. ”Dry-pack”-kanaler, fyrkantiga filter, uppstår kallras med resultatet att daggpunkt underskrids. Detta resulterar i igensättningsproblem i fjärrvärmeekonomisern, troligen orsakade av Na och K. I detta fall kan tänkas att problemen med påslag och korrosion förvärras av att ämnen i RT-flis och gummi samverkar på ett negativt sätt.

Vid samförbränning av något högre andel RT-flis och biobränsle rapporteras goda erfarenheter. I något fall har samförbränning av 30-50 % RT-flis skett med bark och plast i rosterpanna (65 MW). Förbränning av upp till 40 % RT-flis i rosterpanna på 55 MW tillsammans med ca 30 % returpappersslam och ca 25 %, bark samt diverse brännbar papp bedöms också ha fungerat bra. En förutsättning för stabil förbränning är dock en

väl fungerande bränsleberedning, d.v.s. att blandningen resulterar i en jämn och över tiden stabil mix. Ett väl fungerande reglersystem medverkar till god utbränning. Visst behov av mer överluft och ev. ytterligare tillsats av NH_3 finns för att öka utbränningsgraden av flygaskan och minska utsläppen av NO_x . De påslag/avlagringar som uppkommer hanteras genom högtrycksspolning 4 gånger per år i konvektionsdelen. Grundorsaken till påslagen bedöms dock framför allt vara innehållet av Ca i returpapperslammet.

Vid förbränning av 100 % RT-flis i rosterpannor har däremot stora problem med korrosion i eldstad, på överhettare och konvektionsytor uppstått. Mycket påslag/avlagringar och slaggbildning på rostern har orsakat driftstörningar och behov av tätare stopp för rengöring av eldstad och roster. I några fall har även metallsmältor på rostern bestående av zink och aluminium orsakat driftstörningar.

Problem med påslag och korrosion har även noterats vid förbränning (100 % RT) i fluidiserande bäddar. Samförbränning med torv har i något fall (BFB, 70 MW) lett till mindre korrosionsangrepp, troligen genom att askans smältpunkt höjts. Även i en mindre CFB-panna (16 MW) i vilken man eldar ca 80 % RT-flis tillsammans med mindre mängder papper och plast har påslag på överhettare uppkommit. För att minska påslagen på överhettaren har ljudsotning och additiv prövats, men man är inte nöjda med resultatet. För närvarande sker manuell rensning ca var 3:e månad. Analyser av påslagen gav inga tydliga resultat av orsaken till problemen.

Förutom problem med påslag och korrosion har i något fall konstaterats att skrot kan orsaka till stopp i bottenaskutmatningen (CFB-panna). I rosterpannor kan skrot, metallsmältor och slaggbildning orsaka driftstörningar genom att hålen i rostern sätter igen och förhindrar eller minskar tillförseln av primärluft.

De erfarenheter av förbränning av slipers (i form av kross) som finns vid anläggningar inkluderade i denna rapport är goda.

5.2.3 Kvalitetssäkring

Krav avseende kvaliteten/kvalitetssäkring av RT-flis för förbränning ställs vanligen genom någon form av specifikation vid upphandling och uppföljande kontrollprogram. Bränslespecifikationer och kontrollprogrammet kan exempelvis omfatta fraktions/styckestorlek, värmevärde, innehåll av PVC, metallinnehåll och innehåll av impregnerat virke.

Kontrollen av bränslekvaliteten mot specifikation sker vanligtvis okulärt. Det förekommer även att stickprov för bestämning av värmevärdet tas ur varje bil. I vissa fall sker även plockprover, både för att garantera bränslekvaliteten ur förbränningssynpunkt men även för betalningens skull.

Kvalitetssäkring av slipers är viktigt för att undvika förekomst av s.k. CCA-impregnerade slipers med högre innehåll av krom, koppar och arsenik.

5.2.4 Bränsleberedning och inmatning

På grund av varierande innehåll och fraktionsstorlek i leveranser av RT-flis är det relativt vanligt att energibolag även bereder bränslet själva, exempelvis blandar med annat bränsle samt behandlar med krossar, såll/silar, magnetavskiljare, grov- och finrivare. Även blandning på plan med lastmaskin förekommer.

Både bränsleberedning och inmatning av RT-flis i pannan kan på grund av förekomsten av stickor i det krossade bränslet ställa till en del problem med höga underhållskostnader som resultat. Koniska och raka stup kan medföra att bränslet (trä, papper, plast mm) fastnar, med återkommande stopp som resultat. Ombyggnation till stup som vidgar sig visade sig fungera bra.

Metallskrot kan orsaka haverier av krossar och kan fastna i inmatningssystem och i pannan. Magnetseparatorer tar endast en del av metallskrotet. Även medföljande papper, trä- och plastfraktioner kan orsaka en del problem genom att det fastnar i berednings- och inmatningssystemen. Genom ombyggnationer och anpassning av berednings- och transportsystem till detta bränsle kan dock bättre fungerande system skapas.

I fluidbäddpannor förekommer att skrot och sten sätter igen askutmatningen vilket resulterar i kostsamma stopp för rengöring. Även zink, t.ex. från mässingsbeslag, och aluminium ger smältor som orsakar liknande problem.

5.2.5 Utsläpp till luft

Vid några anläggningar med lägre inblandningsgrader ser man inga tydliga effekter på utsläppen till luft av förbränning av RT-flis. Vid flera anläggningar trycker man på vikten av bränslekvaliteten, i synnerhet att kvaliteten är jämn och att bränslet är väl blandat för att man ska kunna uppnå en jämn förbränning. Flera anläggningar rapporterar att man får problem med CO och NO_x och sämre utbränning av askan om bränslekvaliteten varierar. Den jämnare kvaliteten hos slipersbränsle ger stabilare förbränning och mindre problem.

Man använder rökgasreningssystem för att minska emissionerna av stoft. I något fall kompletterar man befintligt elfilter med slangfilter för att också reducera metaller och dioxiner. Eftersom RT-flis innehåller mera metaller än biobränsle förekommer även aktivt kol för att adsorbera Hg och dioxiner. Kväveoxidreducerande åtgärder förekommer genomgående.

5.2.6 Askhantering

Flygaskan deponeras vanligtvis som farligt avfall. Bottenaskan används i några fall som markfyllnad, i något fall på lagringsytor inom verksamheten och i något fall av extern entreprenör.

5.2.7 Viktigt att tänka på vid förbränning av RT-flis

- För att undvika haverier och stopp bör bränsleberednings- och inmatningssystem vara anpassade till detta bränsle.
- Även askutmatningen kan sättas igen.

- Viktigt med kvalitetssäkring av bränslet för att minimera förekomsten av PVC (klor), tungmetaller, skrot och ev. CCA-impregnerat virke samt för att garantera fraktions/styckestorlek och värmevärde.
- Damning kan förekomma från RT-bränsle.
- Ökade problem med påslag och korrosion kan förväntas.
- Ev. kan samförbränning med bränsle som höjer askans smältpunkt (t.ex. torv) minska problemen med påslag och korrosion.

5.3 Gummi

Erfarenheter från förbränning av gummi (huvudsakligen däck) har inhämtats från totalt 4 pannor varav 3 rosterpannor (80-125 MW) och 1 CFB-panna (125 MW). I dessa har gummi använts som kompletterande bränsle under ett flertal år (Tabell 5).

Tabell 5. Erfarenheter av samförbränning av gummi i olika pannor.

Table 5. Experiences from co-combustion of rubber in different boilers.

Material	Inblandningsgrad (% av värmevärde)	Övrigt bränsle (% av värmevärde)	Panna
Däck	35-38 %	Kol	Roster, 80 MW
Däck	5-10 %	RT-flis Skogsbränsle	Roster, 90 MW
Däck	25 %	Kol	Roster, 125 MW
Däck	30 %	Skogsbränsle	CFB, 90 MW
Tekniskt gummi	≤40 % (alt. mixat 50/50 med däck)	Kol	Roster, 80 MW

5.3.1 Materialsammansättning och innehåll

Värmevärdet för gummidäck ligger mellan 28 och 35 MJ/kg, d.v.s. i nivå med fossila bränslen. Gummidäck innehåller relativt mycket svavel och zink samt i viss mån även bly och kadmium. Drygt 10 % av däckmaterialet utgörs av stål i form av trådar (kord) [7]. I några fall har det visat sig att det finns risk för ökade emissioner av flyktiga organiska föreningar, bl.a. PAH (polyaromatiska kolväten), vid förbränning av gummi [17].

5.3.2 Erfarenheter från förbränning

Däck har högt värmevärde och brinner ungefär som kol, d.v.s. huvudsakligen i fast fas / klumpar, vilket lätt kan orsaka överhettning på rosten, i synnerhet vid uppstartfasen från kall panna. I uppstartfasen kan gummi i bränslet leda till för snabb uppeldning som är svår att kontrollera och förutom överhettningproblemen på rostern orsakar detta höga NO_x-värden. Även vid låglast kan problem uppstå p.g.a. av gummits intensiva förbränningsförlopp, bl.a. kan risk för bakbrand uppkomma.

Förbränning av gummidäck har lett till ökade korrosionsproblem på väggar och tuber i eldstaden, s.k. högttemperaturkorrosion. Även påslag på överhettare och igensättning av fjärrvärmeekonomiser liksom ökade korrosionsangrepp i rökgaskanaler har uppkommit. Vid samförbränning med RT-flis kan kombinationen av bränslen förvärra dessa problem. Tillsats av kalk (dolomit) till eldstaden för avsvavling har i något fall lett till minskade problem med korrosion.

5.3.3 Kvalitetssäkring

Ingen särskild kvalitetssäkring har använts eftersom däck och gummi är relativt väldefinierade material.

5.3.4 Bränsleberedning och inmatning

Däck bereds genom att de klipps till lämplig styckestorlek. Metallkorden i däcken hamnar i bottenaskan som deponeras. Däckklipp kan matas in tillsammans, blandat med, annat bränsle eller via separat linje. I de fall däck ska samförbrännas med RT-flis måste inblandning ske efter magnetavskiljare som annars inte kan användas p.g.a. järnet i däcken.

Medan däckklipp vanligtvis är relativt enkelt att hantera, blanda och mata in i pannan kan tekniskt gummi (verksamhetsavfall) orsaka mera problem. Tekniskt gummi kan innehålla mera varierat material, det kan vara lättare och mjukare vilket kan orsaka problem i form av att det packar/klumpar ihop sig vid lagring. Detta leder i sin tur till att materialet blir svårare att blanda och till att inmatningen lätt blir ojämn, vilket gör det svårt att åstadkomma en jämn förbränning.

5.3.5 Utsläpp till luft

Vid förbränning av däck krävs någon form av svavelreduktion. För detta används någon form av kalkinsprutning, exempelvis av dolomit till eldstaden. I något fall vill man få in svavel i rökgaserna för att försöka minska korrosionsproblemen orsakade av Cl (från RT-flis) genom att åstadkomma en högre S/Cl-balans. Svavelemissionerna ökar men går att hålla nere genom kalkinmatning till bädden. Stora kalkmängder sliter dock på doseringsutrustningar och ledningar vilket kan leda till läckor på kalkledningar och damning i anläggningen.

Vissa problem med CO-emissioner har uppstått då inte bränslena har varit väl blandade. Ett behov av att utveckla fördelningen och tillförseln av luft till pannan har identifierats. Askkvalitet

En del askrelaterade driftproblem uppstår vid förbränning av däck p.g.a. smältpunktsänkning (se ovan). Vid förbränning av däck hamnar vidare järnskrot i form av metallkord i askan. Vissa problem med askutmatningen kan uppstå på grund av att kordtrådarna bildar ståltrådstrassel som fastnar i stup och skruvar.

5.3.6 Viktigt att tänka på vid förbränning av gummi

- Däck kan inte blandas i bränslet före magnetavskiljare (p.g.a. metallkorden).
- Vid ofullständig förbränning finns risk för utsläpp av PAH.
- Vid samförbränning i pannor anpassade för biobränslen kan det höga värmevärdet hos gummi kan orsaka problem med överhettning och risk för bakbrand, i synnerhet vid låglast och uppstart.
- Problem med påslag och korrosion är vanliga, både i eldstaden, på överhettare och i konvektionsstråk.
- Kalkdosering krävs för svavelreduktion samt kan bidra till att minska korrosionsproblem.

- Förbränning av större andel gummi har lett till ett ökat behov av att metallisera eldstaden och utbyte av eldstadsväggar vid förbränning utan kalk i eldstaden.
- Metallkorden i bottenaskan kan orsaka stopp i askutmatningen.

5.4 RDF – Papper - Plast

I totalt 10 pannor (7 rosterpannor, 6-90 MW och 3 FB-pannor, 16-90 MW) har man erfarenheter från att elda olika typer av papper och plast, vanligtvis i olika typer av bränsleblandningar. I några fall kategoriseras bränslet som RDF, PTP eller PWT (Tabell 3). Endast i en panna (roster, 55 MW) förbränns papper utan inblandning av plast. Vanligtvis är någon form av trä eller annat biobränsle huvudbränsle. Andelen papper uppgår som mest till ca 30 % (Tabell 6) och andelen plast varierar vanligtvis mellan 5-25 %, men i ett fall uppgår andelen plast till upp till 65 %.

Ensilageplast förbränns f.n. inte i fastbränslepannor i Sverige. Vid förbränningsförsök i avfallspannor har det visat sig att man bl.a. får problem vid inmatningen på grund av att långa remsor orsakar risk för bakbrand. För att denna typ av plastfilm ska kunna förbrännas på ett säkert sätt krävs någon form av bränsleberedning. Ytterligare ett problem kan vara att innehållet av kväve är högt p.g.a. ensilagerester.

Tabell 6. Erfarenhet av samförbränning av papper och plast.

Table 6. Experiences from co-combustion of paper and plastic.

Material	Andel papper (% av värmev.)	Andel plast (% av värmev.)	Övriga bränslen	Panna
Briketter (papper, plast) / Papper-plast-kartong	≤10-20 %	≤10-20 %	Resten Skogsflis/ Bark/Torrflis (60/30/10)	Roster, 6 MW
Plastrejekt Briketter (papper, plast)	25-30 %	10-15 %	Torrflis 60 %	Roster, 8 MW
RDF (trä, papper, plast, mm) Returplast Plastrejekt	12-16 %	ca 65 %	RDF Trä 10-15 % Olja 5-10 %	Roster, 14 MW
RDF (trä, papper, plast, m.m.) Plastrejekt	25-30 %	35-45 %	RDF Trä 25-30 % Olja 5-10 %	Roster, 14 MW
Returpappersslam Papp	30 % 5-10 %	-	Bark 25 % RT-flis ≤40 %	Roster, 55 MW
Plastrejekt PWT (papper, wellpapp, trä) Förpackningar	5 %	30 %	Kött/benmj. 4-8 % Resten RT/Bark (60/40)	Roster, 65 MW
RDF (papper, plast / industriavfall)	5-25 % (totalt, papper-plast)	5-25 % (totalt, papper-plast)	Gummi ≤40 % Resten kol	Roster, 80 MW
PTP (papper, trä, plast)	40 %	40 %	Trä 20 %	Roster, 90 MW
Papper (förpackningar och industriavfall)	10 %	10 %	RT-flis 80 %	CFB, 16 MW
Papper (industriavfall) Plast (industriavfall)	< 10 %	< 10 %	RT 15-20 % Bark 70 %	BFB, 70 MW
PTP (papper, trä, plast)	30 %	30 %	Trä 40 %	CFB, 90 MW

De pappers- och plastfraktioner som förbränns utgörs huvudsakligen av utsorterade fraktioner, inklusive förpackningar, från olika typer av verksamhetsavfall (bl.a. byggavfall). Det förekommer både att färdiga blandningar (papper, plast och ibland trä) levereras till förbränningsanläggningarna, ibland pelleterade eller som briketter, och att man själv blandar bränslet vid anläggningen. Vidare förbränns plastrejekt, d.v.s. plastsnitt från mjölkkartonger och liknande, vid ett antal anläggningar. Även plastförpackningar från hushåll har proveldats.

5.4.1 Materialsammansättning och innehåll

Det effektiva värmevärdet för papper varierar mellan ca 12-16 MJ/kg vid ca 10 % fukthalt. Det effektiva värmevärdet för returpappersslam ligger kring 11 MJ/kg ts. En normal fukthalt för returpappersslam är ca 40 %. Papper innehåller utöver pappersmassa ofta kemiska tillsatser, främst lim, som kan innehålla kväve. Skriv- och tryckpapper innehåller dessutom 10-20 % fyllnadsmedel, ljusa mineraliska partiklar, vanligen porslinslera (kaolin) eller krita. Papper kan innehålla en hel del aluminium (Al), kisel (Si) och kalcium (Ca) men även svavel (S), magnesium (Mg), titan (Ti) natrium (Na), kalium (K) och järn (Fe) [24].

Värmevärdet för plast är högt, mellan 30-40 MJ/kg, d.v.s. i samma nivå som fossil olja. Plaster brinner på liknande sätt som olja, d.v.s. huvudsakligen i gasfas. För att undvika höga CO-värden kan ökad tillförsel av sekundärluft behövas [17]. Tillförsel av plast till bränslen med lägre värmevärde kan, under förutsättning att lufttillförseln är balanserad, leda till totalt sett bättre utbränning genom att förbränningen i gasfasen förbättras och genom tidigare antändning av bränslet.

PVC och PET-plast har lägre värmevärde, omkring 20 MJ/kg. Plaster kan innehålla olika tillsatskemikalier och tungmetaller och kan vara behandlat med flamskyddsmedel. Klorinnehållet kan vara mycket högt om PVC förekommer [19].

Värmevärdet för RDF och andra blandade bränslen varierar framför allt med andelen plast och fukttillförseln. Typisk RDF, d.v.s. beredd från hushållsavfall, har ett effektivt värmevärde omkring 15 MJ/kg. Andra blandade bränslen, beredda från verksamhetsavfall, exempelvis PTP, har något högre värmevärde, upp till 20-25 MJ/kg beroende på andel och typ av plast.

5.4.2 Erfarenheter från förbränning

I laboratorieexperiment har man visat att vanliga plaster som polyetylen (PE), polypropylen (PP) och polystyren (PS) brinner på samma sätt som olja, d.v.s. huvudsakligen i gasfas [17]. PVC däremot brinner långsammare och med en större andel koksförbränning. Samförbränning av en mindre del plast och kol fungerar vanligtvis bra, men en viss ökning av förbränningen i gasfas kan ofta noteras. I jämförelse med förbränning av kol kan ytterligare (sekundär)-luft behöva tillföras så att inte CO-nivåerna stiger om andelen plast är stor [25].

Vid samförbränning av plast med bränslen med lägre värmevärde kan bränsletillförseln behöva minskas så att en jämn energitillförsel uppnås [17]. I några fall har CO-

emissionerna minskat, troligen p.g.a. ökad utbränning i gasfasen. I det senare fallet måste dock tillräckligt med sekundärluft finnas/tillföras. Vid inblandning av bränsemix av papper-plast-trä (10 respektive 25 %) till bark och RT-flis (rosterpanna, 65 MW) konstaterades att förbränningen på rostern blev intensivare [26]. Ca 10 % inblandning av blöjspill (cellulosa och plast) ledde till lägre CO-emissioner.

Inblandning av mindre mängd plast och papper till biobränsle har vidare lett till följande erfarenheter och effekter i olika pannor:

Förbränningstemperaturen

- Temperaturhöjning i pannan med värmerelaterade skador på rosterstavar och sidoplattdor.
- Högre rökgastemperatur.
- Noggrann övervakning och temperaturreglering krävs vid inblandning av plast och papper för att undvika höga temperaturer/sintring.

Emissioner till luft

- Lägre NO_x och CO-emissioner
- Oförändrade NO_x och CO-emissioner.
- Ökade NO_x-emissioner (trol. på grund av kväve i lim i papper).

Eftersom många olika faktorer påverkan bildning och emissioner av CO och NO_x kan till synes liknande förhållanden eller förutsättningar ge olika resultat.

Påslag och korrosion

- Ingen ökning av påslag.
- Mycket påslag på tuber i pannan och på rökgassidan, troligen på grund av lägre smältpunkt i askan från papperet.
- Igensättningsproblem i fjärrvärmeeconomiser troligen på grund av natrium och kalium i papperet.
- Lite påslag på överhettare (ej i pannan), troligen på grund av beståndsdelar i papper. Rensning krävs (manuellt) var 3:e månad.
- Proveldning av plastförpackningar ledde mycket snabbt till kraftiga korrosionsproblem i rökgaskondenseringen på grund av högt klorinnehåll.
- Högt åtgång av sand som hamnar i bottenaskan beror ev. på ökad sintring p.g.a. papper/plast.

Även påslag och korrosion påverkas av många olika faktorer varför det kan tyckas att liknande förutsättningar ger olika resultat.

Bränslekvaliteten

- Viktigt att kvalitetssäkra bränslet; plastkvaliteten med avseende på klorinnehåll och styckestorlek.
- Bränslen med låg densitet (ex. blöjspill) kan vid låg fukthalt lyfta från rostern med resultatet att materialet inte förbränns fullständigt.

Övrigt

- God utbränning.
- Plastrejekt fungerar bra i förbränningen.
- Risk för bakbrand i fallschakt/pusher på grund av att papper/plast är mera lättantändligt i jämförelse med traditionella biobränslen.

Vid flera anläggningar misstänker man att problem med påslag framför allt orsakas av innehåll av alkali i papper. Alla anläggningar anger inte korrosion som ett betydande problem. Korrosionsproblem knyts dessutom ofta till förekomsten av klor, framför allt i plastfraktionen i bränslet.

I ett fall har kraftiga slaggpåslag uppkommit vid förbränning av bränslekross innehållande papper, plast och trä samt pellets av papper och plast (kontorsavfall) i en större rosterpanna (90 MW). Slaggbildningen på väggarna orsakar dessutom stopp i askutmatningen då den faller ner. En tänkbar förklaring är en generell sänkning av smältpunkten orsakad av biobränsle, i detta fallet framför allt innehållet av papper. Kraftiga korrosionsproblem på tuber och i rökgaskondensorn har även uppstått. Troligen beror detta på förekomst av klorider i plasten. Klor skulle även kunna finnas i klorblekt papper och på grund av saltning i flaken vintertid. Stopp för rengöring sker 2-3 gånger per säsong.

Kraftigare belägningsproblem framför allt i konvektionsdelarna och på överhettare, men även i pannan, har även uppkommit i en 90 MW CFB-panna i vilken man eldar rivet PTP (papper, trä, plast) från byggsektorn i fördelningen (30/40/30). Behovet av rengöring i panna och rökgaskanaler var som värst varannan till var tredje vecka. Man har testat lägre förbränningstemperatur, olika lufttillförsel och additiv. Problemen har minskat efter ombyggnation, men det är inte klarlagt vad som varit avgörande för förbättringen.

Vid inblandning av ca 20 % bränslemix (papper, plast, trä) till RT-flis (ca 20 %) och bark ökade alkalikloridhalten i gasfas och tillväxthastigheten hos beläggningar på beläggningssonder [23]. Den ökade koncentrationen alkaliklorid i beläggningarna medför ökad risk för högtemperaturkorrosion.

Problem med påslag i konvektionsdelen har även uppstått vid förbränning av returpappersslam och papp med bark och RT-flis (roster, 55 MW). Troligtvis beror problemen huvudsakligen på innehållet av kalcium (Ca) i slammet. Dessa problem har lett till ett behov av högtrycksspolning (4 gånger/år). För övrigt har förbränningen fungerat bra med god utbränning.

Erfarenhet av samförbränning av en mindre andel plast och papper i form av pellets (totalt 5-25 %) med kol och gummi finns från en panna (roster 80 MW). Förbränningen rapporteras fungera bra. Inga tydliga effekter av detta bränsle har noterats, troligen p.g.a. gummit. I samband med behov av reovering av pannan uppgraderar man till mera korrosionsbeständiga material på grund av att olika typer av avfallsbränslen används. Förbränning av RDF/PDF tillsammans med torv och kol i Finland (65 MW, CFB) har visat sig vara tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt acceptabelt [1]. Ökad korrosion orsakad av svavel (men inte klor) har noterats på överhettartuber. Tuber av rostfritt stål och komposit tuber av FeCrAl och CrMo har visat sig klara sig bra.

Också förbränning av en större andel plast (upp till 60-70 %, från verksamhetsavfall och plastrejekt (upp till 20 %)) tillsammans med trä och papper i en mindre rosterpanna (14 MW) rapporteras fungera bra. Homogenisering av bränslet är viktigt för att förbränningen ska fungera bra och stabilt, med god utbränning och låga emissioner till luft.

Inga anmärkningsvärda påslag eller korrosionsproblem har uppkommit. Kalkdosering till pannan kan ha betydelse för detta. Förekomsten av aluminium i plastrejektet har heller inte lett till några större problem med smältor.

5.4.3 Kvalitetssäkring

Om bränslekvaliteten:

- Viktigt att homogenisera bränslet för stabil förbränning och låga emissioner.
- Damningsproblem har uppstått sommartid med papper/plast-pellets, men kan åtgärdas med vattenbegjutning.
- I samband med upphandling specificeras bränslet exempelvis med avseende på blandningen av olika fraktioner, innehåll av tungmetaller, skrot och klor samt styckestorlek.
- Vissa typer av leveranser kan även sorteras av pannägaren. Detta sker i så fall på plan t.ex. med maskin.

Kontroller av levererat bränsle:

- Stickprov i varje bil för kontroll av värmevärde.
- Stickprov för analyser av fukt, sikt- och fraktionsanalys samt tungmetaller.
- Okulär besiktning

Trots en specificerad storlek på fraktion kan bränslefraktioner i levererat bränsle (PTP) variera en hel del. Exempelvis kan bränsle med en specificerad maxlängd av 100 mm (med 80 % < 50 mm och max 20 % < 5mm) innehålla fraktioner/stickor på 150-200 mm. PTP utsorteras vanligen ur verksamhetavfall och flera olika leverantörer finns.

Proveldning av plastförpackningar insamlade från hushållen har visat att kvalitetssäkring av detta material med avseende på klorinnehållet har stor betydelse för möjligheterna för sameldning utan allvarligare driftstörningar. Rutinerna vid bränsleberedningen är avgörande för att en jämn kvalitet ska kunna upprätthållas. Om PVC-plast finns med i materialet kan betydande korrosionsangrepp uppstå på kort tid.

5.4.4 Bränsleberedning och inmatning

Erfarenheter från inmatningssystem:

- Inmatnings- och blandningssystem med skruvar och finrivare har i några fall fungerat bra för plastrejekt och andra plastfraktioner. Olika material från olika bränslefickor har kunnat blandas till ett homogent bränsle med hjälp av denna utrustning.
- Problem med inmatningen, exempelvis att trasor, plast, m.m. kan fastna i skruvar m.fl transportörer, rapporteras dock också från flera håll.
- Dubbla bränslefickor och inmatningssystem ger goda möjligheter att justera blandningen till pannan.
- Pellets fastnar gärna i skivsiktare och krossar vilket leder till driftstörningar.
- Haverier p.g.a. skrot i grovrivare och finrivare har lett till höga underhållskostnader.
- Stora problem att bränslet (trä, papper, plast mm) fastnade i koniska och raka stup. Ombyggnation så att de vidgar sig har löst problemet.

- Vid blandning av papper och plastfraktioner på plan, utomhus blåser material omkring och trasslar in sig.

Övriga risker och problem:

- Kross av papper, plast och trä har visat sig kunna självantända.

5.4.5 Utsläpp till luft

Vid många anläggningar anger att man har vissa problem med varierande och instabila CO-emissioner och NO_x. Det viktigaste skälet för detta bedöms vara ojämn kvalitet och eller varierande sammansättning av bränslet. Detta kan bero på att olika bränslefraktioner inte har blandats tillräckligt, på grund av att bränslekvaliteten varierar eller är ojämn eller på grund av ojämn inmatning av bränsle/n till pannan. Man arbetar mycket med att producera ett jämnare, bättre blandat bränsle.

Även justeringar av lufttillförsel och reglersystem har visat sig kunna vara effektiva åtgärder för att åstadkomma en stabilare förbränning. Åtgärder i form av ombyggnation och senare luftinblåsning har exempelvis haft gynnsam effekt på utsläppen av CO.

För att klara utsläppsvillkor för saltsyra, ammoniak och svavel är det en förutsättning att reningssteg är i drift. För NO_x-reduktion används vanligen SNCR. Eventuella utsläpp av tungmetaller anges vara små.

5.4.6 Askkvalitet

Askkvaliteten beror till hög grad av typen av och kvaliteten på bränslet, framför allt förekomsten av tungmetaller och skrot. Såväl flyg- som bottenaskorna deponeras vanligen. I något fall rapporteras något högre andel oförbränt i botten och flygaska i jämförelse med förbränning av rent biobränsle.

5.4.7 Viktigt att tänka på vid förbränning av bränslen innehållande papper

- Ökad risk för påslag i panna, på överhettare och i rökgaskanaler troligen p.g.a. innehåll av alkali i papper.
- Ev. risk för sintring.
- Kross av papper, plast och trä har visat sig kunna självantända vid lagring.
- Damningsproblem kan uppkomma om pappersinnehållande bränslen blir för torra (gäller även pelleterade och briketterade bränslen).

5.4.8 Viktigt att tänka på vid förbränning av bränslen innehållande plast

Det höga värmevärdet, snabba antändningen och intensiva förbränningsförloppet hos plast ställer höga krav på:

- Anpassad lufttillförsel.
- Justerad bränsleinmatning (med avseende på värmevärdet).
- Noggrann temperaturövervakning för att undvika överhettningsproblem.
- Övervakning av risk för bakbrand.

I flera pannor har ökande CO-emissioner uppkommit som ett resultat av plast i bränslet. En tänkbar förklaring till detta är att reglersystemet är anpassat för fuktigare bränsle

med lägre värmevärde. När plast tillförs ökar intensiteten i förbränningen, temperaturen ökar i pannan och detta tolkas av regleringen som att för mycket luft tillförs. Resultatet blir att lufttillförseln stryps och lokalt understökiometrisk förbränning, med CO-spikar som resultat, uppstår.

Om bränslefraktioner med högre värmevärde ska samförbrännas med fraktioner med lägre värmevärde är det med andra ord viktigt att för det första anpassa (minska) bränsletillförseln i enlighet med det ökade värmevärdet i bränslemixen. För det andra är det viktigt att regelsystemet ”förstår” den förändrade temperaturfördelningen i pannan som orsakas av plasten och att lufttillförseln anpassas till eventuellt ökat behov eller omfördelat behov. Plast innehåller en stor andel flyktiga brännbara ämnen vilket kan innebära en ökad andel förbränning i gasfas och därmed ett ökat behov av lufttillförsel högre upp i pannrummet (sekundärluft).

Minskade NO_x-emissioner som ett resultat av inblandning av bränslebriketter av papper och plast till biobränsle (roster, 6 MW) skulle kunna förklaras av att brikettbränslet (plasten) snabbare förbrukar överskottssyre i primärluften och på så sätt förhindrar bildning av bränsle-NO_x. Samtidigt minskade CO-emissioner tyder på att syret räcker för god utbränning i gasfasen (ev. p.g.a. tillförsel av sekundärluft).

Vidare:

- Stor risk för kraftiga korrosionsangrepp om klorhaltig plast förbränns.
- Förvärrad risk om samförbränning dessutom sker med alkaliinnehållande bränsle som orsakar beläggningar (exempelvis papper och RT-flis).
- Fraktion för energiutvinning från plastförpackningar insamlade från hushåll och industrin har orsakat snabba och kraftiga korrosionsproblem, troligen p.g.a. klorinnehållet (PVC).
- Stor andel (>50 %) plast kan fungera bra utan större problem med påslag eller korrosion.

5.4.9 Viktigt att tänka på vid förbränning av blandbränslen innehållande papper, trä och plast

- Homogenisering av bränslemixen viktigt för jämn förbränning.
- Kvalitetssäkring av bränslet viktigt – styckestorlek, innehåll av tungmetaller, klor och skrot.
- Förekomsten av alkali i papper och trä i kombination med klor i plastfraktionen kan leda till ökad risk för påslag och korrosion.
- Kross av papper, plast och trä har visat sig kunna självantända vid lagring.
- Papper, plast och pellets kan fastna i olika typer av bränsleberednings- och inmatningssystem, exempelvis skivsållar, krossar och koniska och raka stup.
- Metallskrot kan orsaka haverier av grov- och finrivare.
- Papper och plast kan flyga omkring och orsaka nedskräpning samt fastna i diverse utrustning om det hanteras ute på plan.

5.5 Animaliskt avfall

Från två anläggningar finns erfarenhet av att förbränna köttmjöl (rosterpanna 65 MW, pulverpanna 260 MW). Benmjöl (rosterpanna 65 MW) och animaliskt fett (oljepanna

150 MW) eldas i en anläggning vardera (Tabell 7). I ytterligare en panna (CFB 40 MW) eldas en ny typ av bränsle som fått namnet BiomalTM. Produktion och förbränning av Biomal är ett i Sverige patentskyddat koncept. BiomalTM består av malda, ej torkade animaliska restprodukter (slakteriavfall, delar av djur, hela djurkroppar).

Tabell 7. Erfarenheter av samförbränning av animaliskt avfall.

Table 7. Experiences from co-combustion of animal residues.

Material	Andel anim. avfall (% av värmevärde)	Övrigt bränsle (% av värmevärde)	Panna
Kött- och benmjöl	4-8 %	Plast 10 % Resten RT 60/Bark 40	Roster, 65 MW
Kött- och benmjöl	4 %	Plast 25 % PWT 10 % Resten RT 60/Bark 40	Roster, 65 MW
Köttmjöl	5 %	Torv, kol, trä	Pulverpanna, 260 MW
Biomal TM	20-30 %	Torv Flis	CFB, 40 MW
Animaliskt fett	100 %	-	Oljepanna, 150 MW

5.5.1 Materialsammansättning och innehåll

Kött- och benmjöl och animaliskt fett har värmevärden omkring 16-17 MJ/kg. Biomal, har normalt en fukthalt över 60 % och ett effektivt värmevärde mellan 7,6-8,3 MJ/kg. Innehållet av kväve, svavel och alkali är relativt högt i animaliska bränslen. Även klorinnehållet kan leda till förhöjda HCl-emissioner.

5.5.2 Erfarenheter från förbränning

Mindre mängder kött- och benmjöl (≤ 10 %) har eldats i rosterpanna (65 MW) tillsammans med plast och biobränsle (RT-flis och bark respektive papper, trä, RT-flis och bark) samt i en större pulverpanna tillsammans med torv och kol.

Vid samförbränning med biobränsle har bättre utbränning, lägre CO-emissioner och reducerad askhalt/mängd kunnat konstateras. Samtidigt skedde en viss ökning av svavelemissionerna. Vissa indikationer på korrosionsangrepp finns, men p.g.a. samförbränning med RT-flis är det oklart vad som orsakar dessa.

En tydlig ökning av gasförbränningen kunde ses vid förbränningsförsök med ca 10 respektive 25 % köttmjöl tillsatt till bark och RT-flis [26]. Dessa försök tyder också på att inblandning av köttmjöl bidrar till högre gastemperatur i eldstaden. Dessutom sjönk CO-emissionerna och tendensen till påslag vid överhettarna. Även inblandning av 10 % laderspill ledde till ökad gasförbränning och låga CO-emissioner.

Även samförbränning av köttmjöl (2-10 %) med torv och kol (25/75) i en större pulverpanna har fungerat bra. Ingen tydlig effekt på förbränningen kunde noteras. Däremot kan eventuellt ett betydande korrosionsangrepp i övre delen av pannan och på överhettare ha samband med förbränningen av köttmjöl. Detta har dock inte kunnat visas. Analyser av påslag visar inte ökad förekomst av exempelvis kalium eller andra alkalimetaller, eller klorid. Andra alternativa förklaringar är högre last, högre CO-värden och reducerande atmosfär, placering av brännare högre upp i pannan och/eller mekanisk påver-

kan. Stora problem med påslag och korrosion i pannan, på överhettare och i ekonomiser rapporteras dock även från en dansk anläggning.

Förbränning av s.k. Biomal, 20-30 % inblandning baserat på energi, sker tillsammans med torv och flis i en CFB-panna på 40 MW. Förbränningen har fungerat bra och verkningssgraden har inte påverkats negativt [27].

Erfarenheter från den första eldningssäsongen (totalt 12 000 ton Biomal) visade att man fick påslag på överhettare och konvektionsytor. Askans sammansättning tillsammans med relativt hög temperatur efter cyklonerna är troliga orsaker men detta är inte färdigutrett. På grund av påslagen stannades pannan ett par gånger för rengöring. Ökad sotning har innevarande eldningssäsong minskat påslagen.

Förbränning av animaliskt fett (100 %) i oljepanna (154 MW) har lett till kraftigt ökat slitage i pumpar, ventiler, rör och brännarutrustning. Troligen orsakas detta av den fina andelen, små bendelar etc., som tar sig förbi filter. För övrigt har förbränningen fungerat bra, men skulle kunna förbättras om bränslet var mera homogent. En tendens till ökad sintring har noterats. Ökat slitage på bränsleförsörjningssystem vid förbränning av animaliskt fett rapporteras även från andra anläggningar [28]. Även problem med påslag, bl.a. i pannan, samt korrosion förekommer.

5.5.3 Kvalitetssäkring

Kvalitetssäkring och kontroller av dessa bränslen sker endast oregelbundet p.g.a. att man "vet" vad bränslena består av. Kvaliteten kan dock variera en hel del, åtminstone animaliskt fett för vilket det kan vara svårt att ta representativa prover för bränsleanalys.

5.5.4 Bränsleberedning och inmatning

Köttmjöl kan fastna och "baka på" i olika hanteringssystem. Silar och skruvar rapporteras ha fungerat bra medan cellmatare och blåssystem har satts igen. Benmjöl tycks ha mindre tendens att fastna. Höga hastigheter i transportsystemet minskar risken för att materialet fastnar. Eventuellt kan hög fetthalt orsaka problem, men problemen kan konstrueras bort. Det är viktigt att ta del av den kunskap som finns internationellt om hantering av pulvriserade bränslen.

Biomalbränslet pumpas in till eldstaden via ett slutet system och blandas där med övrigt bränsle. Sammansättningen på Biomalbränslet (malda animaliska restprodukter) varierar framför allt med avseende fukthalten. Normalt är fukthalten över 60 %.

5.5.5 Utsläpp till luft

Vid förbränning av Biomal får man trots en hög kvävehalt i bränslet en reduktion av den totala NO_x-halten, ca 50 % reduktion har uppmätts [27]. En viss ökning av HCl-emissionerna har uppkommit på grund av Biomalbränslets kloridinnehåll. Eventuella svavelutsläpp reduceras till stor del genom egenadsorption i bränsleaskan. CO-

emissionerna har generellt varit låga i CFB-pannan och har dessutom sjunkit något jämfört med drift utan Biomal.

Vid förbränning av köttmjöl med kol och torv i pulverpanna har instabila CO-nivåer uppkommit, i synnerhet vid låglast. Detta kan bero på att köttmjölet innehåller mera grovfraktion än det traditionella bränslet och/eller på ojämn inmatning. Inblandning av 10 respektive 25 % köttmjöl till bark och RT-flis ledde dock till minskade CO-emissioner i en rosterpanna om 65 MW [26].

5.5.6 Askkvalitet

Förbränningen av animaliska bränslen har inte lett till några noterade förändringar av askkvalitet eller askhantering. God utbränning uppnås.

5.5.7 Viktigt att tänka på vid förbränning av animaliska bränslen

- Ökad gasförbränning kan ev. leda till ökat behov av luft.
- Tendenser till och konstaterade påslag och korrosion samt sintring finns.
- Förbränning av animaliskt fett i oljepanna har lett till kraftigt ökat slitage.
- Köttmjöl kan fastna och "baka på" i olika hanteringssystem.
- En viss ökning av HCl- och svavelemissionerna kan uppstå.
- Instabila CO-nivåer kan uppkomma, men i flera fall har CO-emissionerna minskat.

5.6 Olivkross

Förutom ovanstående bränslen förbränns olivkross i en anläggning (pulverpanna 260 MW) (Tabell 8).

Tabell 8. Erfarenheter av samförbränning av övriga avfallsbränslen.

Table 8. Experiences from co-combustion of other waste fuels.

Material	Andel alt. bränsle (% av värmevärde)	Övrigt bränsle (% av värmevärde)	Panna
Olivkross	25 %	Kol 75 %	Pulverpanna, 260 MW

5.6.1 Materialsammansättning och innehåll

Olivkross har ett effektivt värmevärde på 16-19 MJ/kg vid en fukthalt om ca 10-15 %. Olivbränslen innehåller mycket aska, mellan 2-8 % som innehåller en hel del kalium (K), kalcium (Ca) och kisel (Si), vilket är typiskt för biobränslen [8].

5.6.2 Erfarenheter från förbränning

Vid proveldning av olivkross (25 %) under 12 dagar i en 260 MW pulverpanna med 13 brännare, tillsammans med kol konstaterades att förbränningen i stort fungerade bra. Ingen försämring av verkningsgraden noterades. Vissa indikationer på uppkomst av avlagringar och korrosion noterades. Detta kan ev. förklaras av understökiometrisk förbränning i pannan och ska i så fall inte härledas till olivkrosset. Långtidseffekter av förbränning av olivkrosset är dock oklara.

Tidigare har vid förbränning i 100 MW pulverpanna konstaterats att en hel del beläggingsproblem orsakades av förbränning av olivkross (kärnor) tillsammans med olja [8].

Relativt omfattande beläggingsproblem uppkom även vid samförbränning av kol- och olivpulver i en 20 MW-panna. Beläggningarna innehöll mycket kisel (Si), kalcium (Ca) och kalium (K).

5.6.3 Kvalitetssäkring

Olivkrossets kvalitet specificeras i upphandlingen. Ytterligare kvalitetssäkring och kontroller har inte behövts.

5.6.4 Bränsleberedning och inmatning

För att förbränningen ska fungera bra är det viktigt med en homogen bränsleblandning så att inte värmevärdet i blandningen varierar för mycket. Ev. har det visat sig vara svårare med större inblandning (>25 %). Olivkrosset blandas med kol m.h.a. hjullastare och sammals sedan i kvarnarna innan bränslet transporteras vidare och blåses in i pannan. Inmatningen har fungerat bra. Olivkrosset innehåller endast lite olja (< 5 %) och fukthalten är ca 10-15 %. Vid försök att samelda med torv visade det sig vara svårt att blanda dessa bränslen p.g.a. de olika malningsegenskaperna.

Man strävar efter just-in-time-principen att lagra så små mängder bränsle som möjligt. I de fall mindre mängder måste lagras sker detta utomhus i högar. Detta har dock visat sig innebära risker i form av biologisk aktivitet och stegrad temperatur som kan medföra brandrisk.

5.6.5 Utsläpp till luft

De förändringar av emissionerna till luft som noterats vid inblandning av olivkross är minskade svavelemissioner.

5.6.6 Askkvalitet

Någon påverkan på askkvaliteten har inte kunnat påvisas, eventuellt p.g.a. att det är svårt att ta representativa prover då pannan, och askmängden, är stor.

5.6.7 Viktigt att tänka på vid förbränning av olivkross

- Risk för påslag och korrosion finns.
- Viktigt med homogen bränsleblandning.
- Olivkross kan vara svårt att blanda med vissa bränslen, exempelvis torv.
- Vid lagring i hög kan biologisk aktivitet och brandrisk uppstå.

5.7 Existerande system för kvalitetssäkring

En rundfrågning i Europa visar att det endast i två länder finns färdiga system för kvalitetssäkring av avfallsbränslen i drift, nämligen i Finland och i Tyskland. I Finland utgörs systemet av en Finsk Standard SFS 5875 [30]. I Tyskland beskrivs systemet i ett s.k. RAL-dokument [31], [32]. I Italien finns en standard som inte tycks ha någon större

tillämpning, och i Österrike och i Nederländerna pågår arbete. Nedan ges en beskrivning av hur de finska och tyska systemen är uppbyggda samt en analys av deras egenskaper.

5.7.1 Finsk standard

5.7.1.1 Beskrivning av systemet

Den finska standarden SFS 5875, Solid Recovered Fuels, Quality Control System, publicerades år 2000 och finns i en finsk-engelsk version. Huvuddragen i innehållet är följande:

- **Introduktion:**
Här beskrivs syftet med standarden
- **Avgränsningar:**
Standarden omfattar ej obehandlade träavfall såsom bark, sågspån och rester från skogsbruk.
- **Referenser:**
17 provningsmetoder för kemisk och fysikalisk karaktärisering räknas upp
- **Definitioner**
- **Krav**
Detta kapitel är det mest omfattande och innehåller en beskrivning på det system som skall se till att bränslet kvalitetssäkras. Kapitlet är uppdelat på följande delkapitel:
 - **Krav på avfallsbränslet:**
Standarden genomsyras av att producenten av avfallsbränsle och användaren skall komma överens om en kvalitetskontrollprocedur som är tillfredsställande för alla parter och möter krav på miljöprestanda. Denna kvalitetskontroll kan gärna inkluderas i övriga kvalitetssystem hos företagen.
 - **Källseparering av energifraktionen:**
Avfallsproducenten skall vara informerad och följa överenskomna rutiner för källseparering och sortering.
 - **Transport och leverans av energifraktionen:**
Transportföretaget skall känna till produktionskedjan för avfallsbränslet och följa uppställda kvalitetsrutiner
 - **Produktion och leverans av det återvunna bränslet:**
Avsnittet säger i princip att avfallsbränslet skall uppfylla de krav man ställt upp i varje enskilt fall. Avsnittet handlar också om ansvarsfördelning (och när ansvaret ”byter ägare”) mellan de olika parterna.

- Användning av det återvunna bränslet:
Innan bränslet tas i bruk skall bränslet kvalitet vara fullständigt känd och överenskommen mellan alla inblandade parter, inklusive myndigheterna. Det återvunna bränslet skall också vara lämpligt att förbränna i tilltänkt anläggning. Testförbränning bör göras innan storskalig användning påbörjas, och miljömyndigheterna skall också meddelas. Resultatet av försöken skall meddelas myndigheterna. Om myndigheterna accepterar resultaten kan ev. emissionsmätningar ersättas av kvalitetskontroll av bränslet.
- Lagring av energifraktion och återvunnet bränsle
- Myndighetsprocedurer
- Bilaga A
Klassificering av avfallsbränsle. Här definieras tre klasser beronde på innehåll av klor(-ider), svavel, kväve, natrium, kalium, kvicksilver, kvicksilver och kadmium.
- Bilaga B
Datablad för avfallsbränsle. Innehåller dels det som ingår i klassificeringssystemet, men också en rad andra parametrar som köpare och säljare kan välja att komma överens om. Innehåller också en tabell för att enkelt beskriva ursprunget av bränslet samt för materialsammansättningen (trä, papper etc.)
- Bilaga C
Standardformler för värmevärde etc
- Bilaga D
Beskrivning av principer för provtagning
- Bilaga E
Beskrivning av analysmetoder
- Bilaga F
Förklaringar till symboler m.m.

5.7.1.2 Analys av det finska systemet

Det finska systemet bygger på två viktiga grundstenar. Den ena är kvalitetsklasserna I, II och III som parterna kan förhålla sig till. Den andra grundstenen är ett ”management”-system som definierar hur de olika parterna skall agera, vem som har ansvar för vad osv.

I Finland finns ca 10 st större anläggningar (>10 000 ton/år) som framställer återvunnet bränsle ur avfall. Totalt produceras ca 500 000 sådant bränsle per ton/år. Detta för-

bränns i dels kraftvärmeanläggningar och dels i pappersbruk. Det skall tas i beaktande att rena avfallsförbränningsanläggningar av den typ vi är vana vid i Sverige inte alls förekommer.

Kontakter i Finland säger att systemet har ”in some cases been very successful” vilket inte är särskilt entydigt, men bedömningen är att det nog har varit en tillgång för avfallsbränslemarknaden. Hur bra systemet fungerar beror dock mycket på ambitionen hos de inblandade aktörerna. En av de största aktörerna menar sig vara de enda som tillämpar standarden fullt ut, medan många andra använder delar av denna. Med hjälp av standarden lyckas man t.ex producera RT-flis med klorhalter understigande 0,02 %, vilket är lägre än för jungfruligt trä.

5.7.2 RAL-systemet i Tyskland

5.7.2.1 Beskrivning av systemet

Ett helt annat typ av system för kvalitetssäkring av fasta avfallsbränslen än det finländska är det tyska RAL-systemet. Det är betydligt mer fokuserat på producenten av återvinningsbränsle. Systemet har utvecklats i samarbete mellan Bundesgutegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. (BGS) och RAL, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. Syftet med systemet är att underlätta för marknadsaktörer vid handel med avfall för återvinning. För att kunna omfattas av kvalitetssäkringssystemet måste avfallet vara inkluderat i en bifogad avfallslista och det måste uppfylla specificerade kvalitetskriterier.

Systemet bygger på följande:

Regelverk för kvalitetsmärkning:

- Ett regelverk som är uppställt av RAL definierar vad producenten av avfallsbränsle skall uppnå, för att på sikt erhålla en kvalitetsstämpel på sin produktion av avfallsbränsle.

Besiktningar

- För att erhålla kvalitetsmärket förbinder sig företaget att genomgå en första inspektion av ett tredjepartsorgan. Den första inspektionen innefattar en inledande besiktning av produkten (avfallsbränslet), men även en granskning av företagets kvalitetssystem och intryck i allmänhet av företagets kunskaper på området. För att erhålla kvalitetsstämpeln krävs att företaget bedriver en egenkontroll av produktionen samt att de ibland blir utsatta för icke föransmällda besiktningar, och eventuella återbesiktningar om något inte skulle bli godkänt.

Gränsvärden för metaller

- De egentliga krav på bränslet som ställs i systemet är att det skall klara att ligga under fastställda gränsvärden för 16 metaller. 10 uttagna prov skall klara ett medianvärde och de 8 lägsta värdena skall ligga under ett visst gränsvärde (”80-percentilen”).

Deklaration

- Förutom ovanstående angående metallerna skall också följande deklarerars:
 - värmevärde
 - torrhalt
 - askhalt
 - klorinnehåll

Provtagning

- Provtagningen är mycket viktig för att erhålla representativa mätvärden. I RAL-systemet ingår därför en speciell bilaga med instruktioner om provtagning och analyser (angivelse av analysmetoder mm). Antal prov är också relaterad till årsproduktion.

Råvaror

- För att ha en kontroll på ”ingående råvaror” dvs avfallet som skall bli till bränsle skall detta kunna insorteras i en lista som bygger på EWC . Man har ur denna lista definierat ett antal undergrupper.
 - grupp 1: Trä, papper, kartong och papplådor
 - grupp 2: Textil och fibrer
 - grupp 3: Plaster
 - grupp 4: Andra material
 - grupp 5: Fraktioner blandat insamlat avfall med högt värmevärde inom vissa avfallskategorier som är mer eller mindre svåra att kontrollera, bl a ”mixed municipal waste”, ”waste from markets” men även olika typer av biologiskt avfall).

5.7.2.2 Analys av det tyska systemet

Följande slutsatser kan dras:

- det tyska systemet sätter producenten i fokus betydligt tydligare än det finska systemet. Detta kräver att producenten (av avfallsbränslet) själv har ansvar för att de råmaterial som man använder uppfyller de uppsatta kraven.
- det tyska systemet är nästan identiskt med system för produktcertifiering i Sverige, t ex SPs P-märkning.
- tredjepartsgranskningen innebär att kontrollen förmodligen är bättre och att kraven verkligen uppfylls än i det finska systemet.
- det är intressant att notera att enbart två ämnen är gemensamt för det tyska och finska systemet, nämligen kadmium och kvicksilver. Det tyska systemet bekymrar sig således inte så mycket om förbränningssvårigheter (Na, K, klorider mm) utan fokuserar på miljöeffekterna.

Enligt uppgift arbetar man för närvarande med en utveckling av systemet med syfte att förutom de miljörelaterade parametrarna även inkludera ett antal parametrar som beskriver de förbränningstekniska egenskaperna. Exempel på sådana är:

- reaktivitet/tändvillighet

- utbränningsförlopp
- askkvalitet
- korrosionsrisker

Man bedömer detta som mycket svårt eftersom effekterna av dessa egenskaper är så intimt förknippade med den aktuella förbränningsanläggningen, men försöker ändå komma en bit på väg. En faktor som kommer att bli mer och mer intressant är också att specificera det biologiska innehållet eftersom detta har betydelse för det kommande handelssystemet för utsläppsrätter.

Produktionen av RAL-certifierat bränsle har ökat från 13 000 ton år 2001 till 67 000 ton år 2003 och en prognos på 200 000 ton för år 2004 [33]. Det finns i dagsläget tre certifierade leverantörer av RAL-bränsle och 3-4 som är under certifiering. Företrädare för Bundesgutegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. (BGS) som marknadsför systemet menar att det är kombinationen av processkontroll hos tillverkaren samt kontinuerlig oberoende analys av produkten som är attraktiv.

5.8 Standardisering av återvinningsbränslen inom EU

Under år 2000 bildades inom den europeiska standardiseringsorganisationen CEN en Task Force 118 för området ”Solid recovered fuels”. Denna hade sin bakgrund i ett EU-projekt med syftet att underlätta standardiseringen av fasta återvinningsbränslen. Denna grupp skulle dels ta fram en underlagsrapport på området och dels utarbeta ett arbetsprogram för att på sikt kunna lägga fram relevanta standarder. Rapporten antogs av TF 118 i början av 2002 och ligger till grund för att en teknisk kommitté TC343 bildades.

Några av de viktigaste slutsatserna i rapporten från TF118 var:

- En europeisk standard är viktigt för
 - att förenkla handeln med avfallsbränsle över gränser
 - få tillstånd att använda avfallsbränsle
 - kostnadsbesparingar för anläggningar då de inte behöver mäta så mycket om bränslet är kvalitetssäkrat
 - kunna garantera bränslekvaliten för energiproducenter
- Dessa bränslen förekommer redan nu i cementugnar, kraftverk och industriella förbränningsprocesser. Användningen av bränsletypen förväntas öka.

TC 343 påbörjade sitt arbete under 2002. Ordförande för TC343 är Martin Frankenhauer, Finland. Arbetet genomförs i fem arbetsgrupper (WG):

1. Terminologi och kvalitetssäkring
2. Klassificering
3. Provtagning
4. Mekaniska och fysikaliska metoder
5. Kemiska analyser

Respektive arbetsgrupp började sitt arbete under våren 2003 och färdiga standarder beräknas ligga framme om cirka 2-3 år.

TC 343 samarbetar i stor utsträckning med TC 335 som behandlar biobränslen. I Sverige speglas både TC343 och TC335 av en enda grupp, SIS/TK412.

I december 2003 föreligger arbetsdokument från arbetsgrupperna 1 och 2. Dessa är således inte klara för att gå ut som standardförslag. Följande redovisning baseras därför på arbetsdokumenten i den status de har i december 2003.

Arbetsgrupp 2, Klassificering, har tagit intryck av de finska och tyska förslagen. Standardens syfte definieras till ”att underlätta handel och användning genom att ge relevant och enhetlig information om SRF till köparen och användaren såväl som till myndigheter och andra intresserade parter”.

Man skiljer mellan klassificering och specifikation av bränslet. Klassifikationssystemet baseras på tre parametrar enligt följande:

- effektivt värmevärdet (fem klasser)
- klorinnehåll (fem klasser)
- kvicksilverinnehåll (tre klasser)

Dessa parametrar har samma tyngd och ingen definierar själv en klass. Alla parametrar kan däremot kombineras fritt. Klassifikationssystemet utgör grunden för standardförslaget.

Andra relevanta parametrar skall specificeras. En del av dessa är normativa, dvs obligatoriska, medan andra är sådana som kan specificeras på köparens önskemål. De normativa parametrarna är:

- klassifikationskod
- ursprung enligt European Waste Catalogue (EWC)
- sammansättning i procentandelar av trä, papper, plast, gummi etc
- andel biomassa
- form och dimension
- askhalt
- fukthalt
- kemiska parametrar: klorhalt samt tungmetallhalter

Följande parametrar betraktas som informativa:

- ev. använd behandlingsmetod för bränslet
- fysikaliska parametrar (t.ex. bulkdensitet, flykthalt, föroreningar, asksmälttemperatur)
- kemiska parametrar enligt leveranskontrakt

Förslaget innefattar också ett standardiserat protokoll för att redovisa klassifikation och övriga parametrar samt de kodtabeller som behövs. Enligt den svenska delegaten i arbetsgruppen, Björn Lundgren från SP, är man överens om formen för standarden och funktionen skall nu verifieras. Från svensk sida gör man dock starka invändningar mot att tungmetallhalterna, med undantag av kvicksilver, inte inkluderas i klassificeringsunderlaget.

Standarderna för provtagning (WG 3) kommer att baseras på de svenska standarderna för provtagning av biobränsle vilka är väl accepterade. Även standarderna för mekaniska/fysikaliska och kemiska metoder bygger på arbetet för biobränsle.

Standardiseringsarbete inom CEN pågår även avseende terminologi, testmetoder, etc. för plaster och plaståtervinning (CEN/TC 249) liksom för textilier (CEN/TC 248).

6 Resultatanalys

Sammanställningar och översikter över erfarenheter från hantering och förbränning av olika avfallsbränslen återfinns under respektive avsnitt, ovan.

6.1 Bränsle kvalitet och förbränningsegenskaper

En översikt över betydelsen av olika bränsleparametrar för förbränningen återfinns i tabell 9.

Tabell 9. *Betydelsen av olika bränsleparametrar för förbränning, drift och utrustningsbehov [1].*

Table 9. *Significance of different fuel characteristics for combustion, maintenance, and equipment requirements [1].*

Bränsleegenskaper	Effekt/Påverkan	Design/konstruktionsparametrar
1) Sammansättning - % brännbart - Elementarsammansättning - Värmevärde	- Värmefördelning i pannan - Gräns för autotermisk förbränning - Luft-, ask- och rökgasflöden - Panneffekt - Beläggningar, korrosion	- Bränsleberedning - Ytskikt i panna och rökgaskanaler - Temperaturreglering - Styrning och hantering av flöden av luft, aska, rökgaser
2) Partikelfördelning och förbränningsegenskaper - Fukthalt - Partikelstorlek - Partikeldensitet - Flyktigt / Bundet kol - Syre / Bundet kol	- Torktid - Tid för förgasning och förbränning - Tid / koksförbränning - Partikelblandning och fördelning - Förbränningsstabilitet	- Behov av ytterligare lufttillförsel och tillförselpunkter - Bränsleberedning (partikelstorlek, blandning) - Inmatningsmöjligheter - Uppehållstid - Förbränningsreglering
3) Askegenskaper - Smält-/förångningspunkt - Kornstorlek - Kemisk sammansättning - Fysikalisk sammansättning	- Asksmältförlopp - Uppkomst av föreningar / ämnen med låg smältpunkt - Påslag - Partikelstorlek (FB)	- Utformning och material i konvektionsdelar - Partikelstorlek i bäddmaterial och kontroll - Lufttillförsel - Stoftrening - Möjlighet till additiv
4) Ämnen som kan ge luftemissioner - Svavel - Kväve - Klor / Fluor - Tungmetaller	- Emissioner av NO _x , SO _x och HCl - Flyktiga tungmetaller	- Rening – i/efter förbränning - Val av sorbenter, mängder - Hantering av fast avfall

6.1.1 Hantering och lagring

Hantering, beredning och inmatning av avfallsbränslen kan innebära ökad risk för driftstörningar, framför allt stopp i olika typer av utrustningar men även haverier kan inträffa. Stopp kan orsakas av skrot, men även av trasor, plast, m.m. Även ökad friktion i bränslet kan leda till stopp p.g.a. igensättning i schakt och rör. Pelleterade bränslen kan fastna i och sätta igen sållar och siktar. Haverier orsakas främst av skrot. Motsvarande problem kan uppstå i utrustning för askutmatning.

Flera avfallsbränslen och blandningar kan innebära en brandrisk vid lagring. Såväl RT-flis som blandningar av papper, trä och plast samt olivkross har självantänd eller visat tendenser att självantända.

Fukthalten kan vara kritisk för säkerheten. För hög fukthalt kan genom mikrobiologisk aktivitet leda till produktion av metangas och för låg fukthalt till damningsproblem med risk för dammexplosioner. Även metoden för lagring är viktig. Stora högar ökar risken för syrefria miljöer och för att metangas ansamlas. Risken minskar om man lagrar bränslet i limpor eller strängar som dessutom vänds eller skottas/skyfflas om med lämpligt intervall.

6.1.2 Kvalitetssäkring

Då krav avseende kvaliteten eller kvalitetssäkring av avfallsbränslen ställs, sker detta vanligen genom någon form av specifikation vid upphandling och uppföljande kontrollprogram. Bränslespecifikationer och kontrollprogram för RT-flis kan exempelvis omfatta fraktions/styckestorlek, värmevärde, innehåll av PVC eller klor, metallinnehåll och innehåll av impregnerat virke. För bränslen innehållande papper och plast specificeras bränslet exempelvis med avseende på blandningen av olika fraktioner, innehåll av tungmetaller, skrot och klor samt styckestorlek. I synnerhet då det finns risk för klorinnehållande fraktioner är det angeläget med en fungerande kvalitetssäkring.

Kontroller av bränslekvaliteten mot specifikation sker vanligtvis okulärt. Det förekommer även att stickprov för bestämning av värmevärdet tas ur varje bil. Stickprov för kontroll av fukt, sikt- och fraktionsanalys samt tungmetaller tas mera sällan. Med mera oregelbundet intervall genomförs plockprover, både för att garantera bränslekvaliteten ur förbrännings synpunkt men även för betalningens skull.

För vissa bränslen sker ingen uttalad kvalitetssäkring eftersom materialet bedöms vara relativt väl definierat. I dessa fall sker vanligen endast oregelbundna och begränsade kontroller av bränslekvaliteten, exempelvis fukthalt.

För att ytterligare säkerställa låga utsläpp och hög driftsäkerhet kan man tänka sig ett mer utvecklat kvalitetssäkringssystem. Ovan har bl.a. redovisats system för kvalitetssäkring i Finland och Tyskland och hur dessa är uppbyggda.

Erfarenheterna från framför allt Finland, där systemet varit i drift längre är att endast en specifikation och okulära kontroller är otillräckligt. Enligt den ansvarige för bränsleproduktionen på Finlands största avfallsföretag kan de fraktioner av detta slag som används i Sverige inte kallas kvalitetssäkrade.

Med ett kvalitetssäkringssystem menas i allmänhet följande:

1. Det skall finnas en *produktspecifikation*, dvs i fallet med avfall destinerat till förbränning, ett krav på hur det som går in till pannan skall se ut. Kraven är ofta formulerade som ett eller flera mätvärden som skall över- respektive underskridas. Egenskaperna som specificeras kan vara önskvärda, t ex värmevärde, eller icke önskvärda. Exempel på icke önskvärda egenskaper är för högt innehåll av

svåra material såsom CCA-impregnerat virke eller PVC-plast, eller för höga halter av bly, svavel eller andra element. Dessutom kan andra parametrar som inte nödvändigtvis är positiva eller negativa, men som påverkar lämpligheten för den enskilda anläggningen, specificeras. Exempel på sådana egenskaper är styckestorlek och fukthalt. Ofta specificerar man också hur stor variation som kan accepteras.

2. En *riskanalys* som identifierar var avvikelser kan uppkomma, t ex felsortering av material, dåligt fungerande magnetavskiljare, dålig avvattning av vått material, kvalitetsförsämring under lagring etc. Riskerna kan vara relaterade till utrustning, t ex risk för haveri, till mänskliga faktorn, t ex dåligt utformade instruktioner eller bristande utbildning och till olyckor som t ex brandtillbud.
3. Ett *system för att undvika att de identifierade riskerna inträffar*. Detta kan se mycket olika ut, alltifrån skriftliga instruktioner för sortering till upparbetning som t ex krossning och magnetavskiljare.
4. Ett *system för att följa upp att åtgärderna enligt punkt 3 fungerar*. Vad som ingår i detta kan variera kraftigt men provtagning och mätning på olika punkter behövs för att verifiera att allt fungerar som det skall. Provtagningsplanen beskriver hur mätningarna skall gå till.

Det är också viktigt att det finns en plan för vad man gör med det material som inte håller måttet. Dålig sortering eller stora variationer i olika avfallsgenererande processer gör att avfallet kan variera inom vida gränser. Ett fungerande kvalitetssystem kan, om det kombineras med snäva ramar för den slutliga kvaliteten, leda till att betydande mängder avskiljs som icke godtagbart. Då är en förberedd handlingsväg för det utsorterade avfallet nödvändig. Deponiförbuden för utsorterat brännbart avfall (som redan trätt i kraft) och organiskt avfall (som träder i kraft 2005) gör att denna väg är stängd. Återstår t ex upparbetning eller förbränning i en annan anläggning som är bättre anpassad för just denna sorts avfall.

6.1.3 Förbränning

Förbränning av blandade bränslen ställer höga krav på möjligheterna att reglera förbränningen. Först och främst är det viktigt att olika bränslefraktioner är väl blandade och att bränslet respektive olika fraktioner håller så jämn kvalitet som möjligt över tiden. Det är även angeläget att styckestorleken är lämplig. Möjligheterna att styra inmatningen till pannan är också av stor betydelse för att understödja en jämn förbränning. Det kan vara en fördel om flera parallella linjer finns.

Vidare kan olika bränslefraktioner variera med avseende på värmevärde, vilket innebär att temperaturfördelningen i pannan påverkas. I flera fall har problem i form av ojämn förbränning och CO-emissioner uppstått vid försök med inblandning av bränslen som är torrare (har högre värmevärde) än standardbränslet. En förklaring till detta skulle kunna vara att reglersystemet är anpassat för fuktigt bränsle. Ökande panntemperatur (p.g.a. bränslefraktion med högre värmevärde och större andel flyktiga föreningar/mer gasförbränning) skulle kunna medföra att regleringssystemet stryper lufttillförseln för att minska temperaturen. I själva verket krävs då mer luft för att svara mot behovet i det nya bränslet och resultatet blir ofullständig förbränning och ökade CO-emissioner.

Ett genomgående tema vid sameldning av samtliga här redovisade avfallsbränslen är risken för ökade beläggningar och åtföljande korrosion. Vid inblandning av t.ex. 20 % RT-flis till bibränsle fördubblades beläggningshastigheten. Liknande erfarenheter har gjorts i de flesta anläggningar som eldat RT-flis. Antalet driftstörningar har ökat och man har fått göra tätare stopp för rengöring. RT-flisens innehåll av zink och bly tillsammans med ev. klorinnehåll är här avgörande. I några fall har metallsmältor av zink och aluminium på rostent delvis satt igen lufthålen och orsakat driftstörningar.

Sameldning av gummi med kol fungerar i stort sett bra, mycket beroende på att bränslenas egenskaper liknar varandra. Man får dock vara uppmärksam på risken för överhettning av rostent. Vissa problem med högtemperaturkorrosion har också konstaterats. Detta är dock mer uttalat vid sameldning med RT-flis.

Samförbränning av plast och papper med bibränsle kräver anpassning av bränslematning och/eller lufttillförsel för att kompensera för det högre värmevärdet. Det är också mycket viktigt att bränslet är väl blandat för att undvika lokala övertemperaturer och/eller syreunderskott som leder till spikar av oförbränt. Å andra sidan kan sameldning av plast i vissa fall medverka till bättre utbränning och lägre utsläpp om förbränningen kontrolleras väl.

Problem med påslag konstateras främst vid sameldning av papper troligen på grund av dess innehåll av alkali. Om plastfraktionen dessutom innehåller PVC erhålls kraftigt ökad korrosion på grund av klorinnehållet. Förekommande korrosionsproblem är starkt kopplade till PVC-halter i bränslet.

Spektrat av erfarenheter från sameldning av RDF-papper-plast är mycket mångfacetterat både vad gäller utbränning, påslag och korrosion. I vissa fall erhålls motstridande uppgifter i en och samma frågeställning från olika anläggningar. Det är därför mycket svårt att dra entydiga slutsatser för en given kombination av bränslemix och förbränningsanläggning.

6.1.4 Askkvalitet och driftstörningar

En översikt över ämnen med problematiska egenskaper som kan förekomma i några olika avfallsbränslen återfinns i tabell 10. Observera att tabellen omfattar information från intervjuer och publicerat material [1] och därför även innehåller information om bränslen som inte berörs närmare i denna rapport.

Samtliga alternativa bränslen i denna studie tycks öka risken för problem med sintring, påslag/avlagringar och korrosion. I vissa fall kan innehållet i olika bränslefraktioner förvärra effekterna. Indikationer finns exempelvis att kombinationen papper med innehåll av alkali tillsammans med klorinnehållande plast kan leda till ökad tendens till påslag och korrosion.

Även om mekanismerna bakom uppkomst av påslag och korrosion är ofullständigt kända finns en hel del kunskap om vilka ämnen som medverkar. Kvalitetssäkring av av-

fallsbränslen är därför av avgörande betydelse för möjligheterna att minimera driftstörningarna i förbränningsanläggningar för samförbränning.

Tabell 10. Eventuella problem vid förbränning orsakade av icke brännbara ämnen och föreningar i alternativa bränslen [1].

Table 10. Some problems during combustion caused by non-combustible elements and substances in alternative fuels [1].

Alternativt bränsle	Problematiska egenskaper	Eventuella problem
Hushållsavfall	- Glas – smältor - Aluminium - smältor - Ackumulering av metallskrot	- Avlagringar - Sintring - Korrosion
Biobränsle	- Bildning av föreningar med låg smältpunkt (Na, K) - Innehåll av sten och metall - Oorganiska alkaliklorider	- Avlagringar - Avlagringar - Sintring - Korrosion
Slam	- Bildning av föreningar med låg smältpunkt (Na, K, fällningskemikalier) - Oorg. alkaliklorider	- Avlagringar - Avlagringar - Sintring
Däck	- Ackumulering av metalltråd - Zink	- Sintring - Igensättning ”bed drains” - Korrosion
Bilfluff*, brännbart	- Glas – smältor - Aluminium -smältor - Ackumulering av metallskrot	- Avlagringar - Sintring - Korrosion
RT-flis	- Zink, bly, m.fl. tungmetaller - Alkali, klor, mm - Metallskrot - Metallsmältor	- Avlagringar - Avlagringar - Sintring - Korrosion
Papper	- Bildning av föreningar med låg smältpunkt (Na, K) - Innehåll av sten och metall - Oorganiska alkaliklorider	- Avlagringar - Avlagringar - Sintring - Korrosion
Plast	- Klor	- Avlagringar - Korrosion
Animaliskt avfall	- Bildning av föreningar med låg smältpunkt (Na, K) - Innehåll av sten och metall - Oorganiska alkaliklorider	- Avlagringar - Avlagringar - Sintring - Korrosion (överhettare)

*Fragmenterat material.

6.2 Rökgasrening

En sammanställning och översikt över tänkbara flyktiga föreningar som kan bildas vid förbränning och behovet av rökgasrening för olika avfallsbränslen återfinns i tabell 11.

Tabell 11. Översikt över behovet av rökgasrening vid förbränning av alternativa bränslen [1].

Table 11. Overview of the requirement for flue gas cleaning for alternative fuels [1].

Alternativt bränsle	Flyktiga föroreningar	Prioritering för emissionsreduktion	Utformning av rökgasrening
Hushållsavfall	- N (0.5-0.6 %) - S (0.1-0.9 %) - Cl (0.5-0.9 %) - Fl (0.01-0.02 %) - Tungmetaller (t.ex. Cd, Hg, Pb, Zn, Cr, As)	- SO ₂ , NO _x - Halogener (HCl, HF) - Stoft - CO, kolväten - Dioxiner/furaner - Hg	- Kalkinsprutning - Torr el. våt skrubber - Textil- eller elektrofilter - Avancerad förbränningsreglering - Aktivt kol-filter
Biobränsle	- N (0.1-0.6 %) - S (0.01-0.1 %) - Cl (0-0.2 %)	- SO ₂ , NO _x - HCl (vissa bränslen) - Stoft - CO, kolväten	- Stegad förbränning - Insprutning av NH ₃ eller urea - Insprutning av torr kalk - Textil- eller elektrofilter
Returträflis	- N - S - Cl - Tungmetaller	- SO ₂ , NO _x - Halogener (HCl, HF) - Stoft - CO, kolväten - Dioxiner/furaner - Hg	- Kalkinsprutning - Torr el. våt skrubber - Textil- eller elektrofilter - Aktivt kol-filter
Slam från avloppsreningsverk	- N (2.5-6 %) - S (0.3-1.3 %) - Cl (uppg. saknas) - Tungmetaller (t.ex. Cd, Pb, Zn)	- SO ₂ , NO _x - HCl - Stoft - CO, kolväten - Dioxiner/furaner	- Stegad förbränning - Insprutning av NH ₃ - Torr el. våt skrubber - Textil- eller elektrofilter
Slam från pappersind.	- S (4-6%) - Cl (uppgift saknas) - Tungmetaller (uppgift saknas)	- SO ₂ - HCl - Stoft - CO, kolväten	- Kalkinsprutning - Torr el. våt skrubber - Textil- eller elektrofilter
Däck	- S (1.2-1.6%) - Tungmetaller (Zn)	- SO ₂ - Stoft - CO, kolväten	- Kalkinsprutning - Textil- eller elektrofilter
Bilfluff*, brännbart	- N (uppgift saknas) - S (0.2-0.5 %) - Cl (1.0-5.0 %) - Tungmetaller (t.ex. Cd, Hg, Pb, Zn, Cr, As)	- Troligen som hushållsavfall	- Troligen som hushållsavfall

*Fragmenterat material.

En analys av behovet av rökgasrening för att uppfylla kraven i avfallsförbränningsdirektivet vid samförbränning i biobränslepannor i storleken 10-25 MW har nyligen genomförts [29]. I denna konstateras att:

- För att klara stoftkravet krävs slang- eller elfilter.
- Om stoftkravet klaras innehålls även metallkravet.
- Om inte halten klor i bränslet är mycket låg krävs rökgaskondensering, skrubber eller torr rening.
- Vid måttliga halter svavel behövs tillsats av kalk i pannan och/eller rökgaskondensor.

- Vid högre halter svavel behövs torr, halvtorr eller våt rening med kalk- eller alkali-tillsats.
- Om dioxinkravet med säkerhet ska klaras krävs dosering av aktivt kol, alternativt installation av Adiox i en skrubber.

Torr rening i form av slangfilter med injektion av aktivt kol och kalk är den dominerande typen av reningsutrustning.

6.3 Ekonomiska incitament kontra kvalitetsaspekten

I dagens läge styrs hanteringen av avfall i slutändan av ekonomiska incitament.. Detta innebär i praktiken att nya pannor med höga kapitalkostnader gärna tar emot bränslen som ger god avkastning på kort sikt. Dessa bränslen har dock, i regel, långsiktiga effekter på utrustningen t.ex. korrosion, erosion, påslag m.m. I gamla anläggningar är den kortsiktiga ekonomiska pressen i regel inte lika stor då kapitalkostnaden vanligtvis är mindre. Dessutom har driftorganisationen har hunnit utbilda inköparna vad som är lämpligt att elda i den enskilda pannan. Bränslet kan i detta fall vara dyrare men kvaliteten är högre och de långsiktiga effekterna på pannan mindre. Detta kan vara lönsamt på längre sikt genom att drift- och underhållskostnaderna blir lägre.

För att komma till rätta med dessa problem och samtidigt bibehålla de ekonomiska fördelarna med att ta emot svåra bränslen kan det vara en fördel att ta fram ett standardkontrakt för att styra kvaliteten hos bränslet. Standardkontraktet bör vara upprättat på ett sådant sätt att både leverantören och mottagaren med en måttlig arbetsinsats kan erhålla tydliga krav och begränsningar. Kontraktet skall ta upp åtaganden och skyldigheter och dessutom reglera eventuella skadeståndskrav i samband med skador till följd av förorenat bränsle. Mottagaren måste dock vara medveten om den sammansättning av bränsle som han lovat att ta emot och vilka långsiktiga skador det överenskomna bränslet kan ge

En slutsats av detta är att utbildning av inköpsorganisationen är en nödvändighet för att få tillförlitlighet vid samförbränning av avfall, samt att framtagning av ett standardkontrakt vid upphandling av avfall skulle underlätta främst för de små pannägarna att kunna ta emot och samförbränna avfallsbränslen.

6.4 Checklista vid samförbränning

Nedan ges en kortfattad lista på ett antal punkter som bör analyseras inför en tänkt samförbränning av avfallsfraktioner. Listan gör inte anspråk på att vara fullständig men kan vara en utgångspunkt i det enskilda fallet.

A) Problem som kan uppstå

- 1) Inmatning
 - stopp i skruvar, schakt
 - bakbrand etc
- 2) Förbränning
 - brinner på ”fel” ställen
 - ojämn förbränning
- 3) Rökgaser
 - korrosiva gaser
 - utsläpp
- 4) Beläggningar
 - dålig värmeöverföring
 - igensättningar
- 5) Korrosion
 - höga underhållskostnader
 - driftstopp
- 6) Askkvalitet
 - miljöstörande ämnen (metaller)
 - begränsad användbarhet (skrot, oförbränt)
- 7) Lagring av bränsle
 - damning
 - jäsning
 - lukt
 - brand
- 8) Arbetsmiljöproblem

B) Orsaker till problem

- 1) Kemisk sammansättning
 - a) Klor, brom, andra halogener ger dioxiner, utsläpp av halogenider, beläggningar, korrosion, utlakning från askan
 - b) Tungmetaller ger utsläpp i rökgaser i luft, utlakning från askan, beläggningar
 - c) Svavel, kväve ger korrosion, utsläpp av försurande ämnen
- 2) Skrot och främmande material
 - a) Ger problem i inmatning av bränsle samt utmatning av aska
 - b) Kan ge igensättning av roosterhål (smälta på rosten)
 - c) Tillför metaller
 - d) Kan kräva utskottning (driftstopp)
- 3) Styckestorlek
 - a) Damning ger arbetsmiljöproblem, ojämn förbränning, risk för dammexplosion eller bakbrand
 - b) Stänglighet ger hängningar och stopp i skruvar, stup etc samt ojämn förbränning
 - c) Brinner på ”fel” ställen vilket ger ändrad värmeöverföring

C) Problematiska material

- Tryckimpregnerat virke (Cu, Cr, As)
- PVC (klor)
- Spånskivor etc (hög N-halt)
- Gips, spik, mineralull etc (skrot, sänker värmevärdet)
- Organiskt material, t.ex. från livsmedelsindustri (hantering, risk för jäsning, smitta)

D) Kritiska processer

- Källsortering (motivering, möjligheter, system)
- Transport
- Lagring
- Separation (sållar, siktar, magnetavskiljare)

E) Åtgärder

- Kravspecifikation av bränslet (t.ex. fukthalt, styckestorlek, värmevärde, klorhalt, metallhalt)
- Beskrivning av hantering (mottagning, behandling, blandning, transport, inmatning etc.)
- Identifiering av kvalitetskritiska punkter
- Identifiering av åtgärder och implementering av dessa

7 Förslag till fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete

Bio- och avfallsbränslen innehåller ämnen och föreningar som kan orsaka problem med avlagringar/påslag, sintring och korrosion [1]. Ännu finns ingen heltäckande kunskaps-sammanställning över dessa effekter eller problem som kan uppstå vid samförbränning utan varje samförbränningsprojekt måste överväga och analysera eventuella risker och problem med alternativa bränslen och bränsleblandningar.

Viss kunskap om de ämnen som bidrar till dessa problem finns medan kunskapen om de mekanismer och processer som är inblandade i många fall är bristfällig. Dessa problem angrips lämpligen inom ramen för större program, uppdelat på lämpliga delprojekt, inom vilket erfarenheter och problem i befintliga pannor studeras och analyseras på ett systematiskt sätt. Exempel på hur sådana program kan genomföras är Värmeforsk's program för returträflis [34] resp. fiberslam [35] samt det projekt som nu initierats för utsorterade avfallsfraktioner [36]. Eftersom antalet variabler/faktorer som påverkar är stort krävs ett brett underlag för att olika hypoteser och teorier ska kunna testas. Alternativt måste studier koncentreras på väl avgränsade fall. Fältstudier och försök behöver dessutom kombineras med laboratoriestudier.

Idag pågår utredningar av dessa problem vid olika anläggningar, men möjligheten att reda ut denna problematik med hjälp av mindre, okoordinerade studier torde vara begränsad.

Motsvarande gäller i viss mån även för behovet av och strategier för styrning/reglering av förbränningsprocessen. I synnerhet behövs system som är anpassade för mindre pannor till en rimlig kostnad.

Det finns också ett stort behov av metoder för kvalitetssäkring och kontroll av avfallsbränslen. Det finns anledning att bygga vidare på de ansatser i form av specifikationer och kontrollrutiner som idag finns på svenska anläggningar. Fullständiga kvalitetssäkringssystem som innefattar hela kedjan från ingående avfallsströmmar till utsläpp till luft och vatten samt kvalitet hos restprodukter bör utvecklas, implementeras och utvärderas både tekniskt och ekonomiskt. Idéer till hur sådana system kan se ut kan hämtas från Tyskland och Finland, men måste givetvis anpassas till aktuella svenska förhållanden. Detta blir alltmera angeläget eftersom avfall mer och mer betraktas som en vara på en marknad, som skall hitta sin optimala användning hos en lämplig kund. För att detta skall kunna ske med tillräcklig säkerhet måste begrepp och system etableras så att producenter och användare kan kommunicera på ett effektivt och förtroendefullt sätt.

8 Litteraturreferenser

- [1] *European Co-combustion of Coal, Biomass and Wastes*, Final Report, project DIS-0506-95-UK, European Commission DG 17, EAE Technology (ETSU) UK, VTT Energy Finland, Sydkraft Konsult AB Sweden, Jan 2000.
- [2] Kronberger R, *Waste to Recovered Fuel Cost-Benefit Analysis*, Energie, GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Wien, April 2001.
- [3] Samuelsson E, *Sameldning av avfall och biobränsle för en miljömässigt hållbar energiförsörjning?*, Examensarbete 2000:M4, Institutionen för Naturvetenskap, Högskolan i Kalmar, 2000.
- [4] *Kapacitet för att ta hand om brännbart och organiskt avfall*, RVF Rapport 2002:02, Malmö, 2002.
- [5] *Uppföljning gav deponeringsförbuden*, Redovisning av regeringsuppdrag, Naturvårdsverket, Juni 2002.
- [6] *Solid Recovered Fuels (Part 1)*, CEN Report, 2001.
- [7] *Refuse Derived Fuel. Current practice and Perspectives (B4-3040/2000/306517/Mar/E5)*, Final Report, European Commission – Directorate General Environment, Bryssel, July 2003.
- [8] Nordin A och Levén P, *Askrelaterade driftsproblem i biobränsleeldade anläggningar. Sammanställning a svenska driftserfarenheter och internationellt forskningsarbete*, Värmeforsk rapport 607, Stockholm, Maj 1997.
- [9] Marton C and Alwast H, *Operational experiences and legal aspects of co-combustion in Germany*, Waste to Energy, ISWA Conference, Malmö, 2001.
- [10] *Import av avfall*, RVF Rapport 2002:03, Malmö, 2002.
- [11] *Avfall för energiåtervinning*, FVF Rapport 1999:1, Fjärrvärmeföreningen, Stockholm, 1999.
- [12] de Vires R and Pfeiffer E, *Waste separation and energy recovery – energetic and environmental assessment of the complete chain. Recent developments in the Netherlands*, i *Power production from waste and biomass IV. Advanced concepts and technologies*, VTT Symposium 222, Espoo, Finland, 2002.
- [13] *Evaluation of the Dutch and Finnish situation of energy recovery from biomass and waste*, Tekes, Technology Review 99/2000, Finland, 2000.
- [14] *Power production from waste and biomass IV. Advanced concept and technologies*, VTT Symposium 222, Espoo, Finland, 2002.
- [15] Sipilä K, *Overview of Finnish waste to energy R&D programme*, i *Power production from waste and biomass IV. Advanced concepts and technologies*, VTT Symposium 222, Espoo, Finland, 2002.
- [16] Andersson B-Å, von Bahr B, Blom E, Ekvall A, Gustavsson L, Robertson K, Sundqvist J-O, *Samförbränning – en möjlighet för utökad energiutvinning*, STEM, manus, 2003.
- [17] Gustavsson L, Robertson K, Tullin C, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Sundqvist L, Wrangsten L, Blom E, ÅF, *Issues in Waste Combustion*, STEM, manus 2002.

-
- [18] Sjöblom R, *Hypoteser och mekanismer för bildning av beläggningar innehållande zink och bly vid eldning av returflis*, Värmeforsk Rapport 734, Stockholm, Mars 2001.
- [19] Jermer J, Ekvall A, Tullin C, *Inventering av föroreningar i returträ*, Värmeforsk Rapport 732, Stockholm, Mars 2001.
- [20] Andersson C och Högberg J, *Orsaker till askrelaterade driftproblem vid eldning av returflis*, Värmeforsk Rapport 733, Stockholm, Mars 2001.
- [21] Andersson C och Tullin C, *Förbränning av returflis - kvalitetssäkring och drifterfarenheter*, Värmeforsk Rapport 668, Stockholm, Augusti 1999.
- [22] Andersson A, Andersson C, von Bahr B, Berg M, Ekvall A, Eriksson J, Eskilsson D, Harnevie H, Hernström B, Jungstedt J, Keihäs J, Kling Å, Mueller C, Sieurin J, Tullin C och Wikman K, *Förbränning av returträflis; Etapp 1 av ramprojekt returträflis*, Värmeforsk Rapport 820, Stockholm, Augusti 2003.
- [23] Strömberg M och Erdegren P, *Sameldning av returbränslen i form av papper, plast och trä i fastbränslepanna som idag ej är klassad för avfall*, Värmeforsk Rapport 759, Stockholm, Januari 2002.
- [24] Phyllis database for biomass and waste, <http://www.ecn.nl/phyllis/>, Energy research Center of Netherlands.
- [25] INETI's Experience in the Co-Combustion of Coal with Different Wastes, i Co-processing of different waste materials with coal for energy, Proceedings, red. Gulyurtlu I, Lissabon, Portugal, November 2001.
- [26] Blom E, Lundborg R och Wrangensten L, *Proveldning i fastbränslepanna för att kartlägga emissioner vid inblandning av olika avfallsfraktioner*, Värmeforsk Rapport 788, Stockholm, September 2002.
- [27] Herstad Svärd S, Kullendorff A, Virta L, Backman S, Tilly H-Å och Sterngård E, *Co-combustion of Animal Waste in Fluidized Bed Boilers – Operating Experiences and Emission Data*, The 17th International (ASME) conference on Fluidized Bed Combustion, Jacksonville, Florida, May, 2003.
- [28] Wikman K och Berg M, *Förbränning av flytande animaliska/vegetabiliska restprodukter*, Värmeforsk Rapport 791, Stockholm, oktober 2002.
- [29] Gyllenhammar M och Larsson S, *Rökgasrening vid samförbränning i biobränslepannor i storleken 10-25 MW*, Värmeforsk Rapport 838, Stockholm, September 2003.
- [30] Solid Recovered Fuels. Quality Control System, Finnish Standard Association, SFS 5875, 2001-01-24.
- [31] Solid Recovered Fuels – Quality Assurance, RAL-GZ 724, Ed. June 2001, RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.
- [32] Instructions for taking, preparing and analyzing samples of solid recovered fuels within the framework of the RAL quality label for solid recovered fuels, May 2001, Bundesgutegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V.
- [33] Personlig kommunikation: Joachim Schutz-Ellermann, BGS
- [34] Berg, M, Andersson, A, Andersson, C, von Bahr, B, Ekvall, A, Eriksson, J, Eskilsson, D, Harnevie, H, Hemström, B, Jungstedt, J, Keihäs, J, Kling, Å, Mueller, Chr., Sieurin, J, Tullin, C och Wikman, K: *Förbränning av returträflis –*

etapp 2 av ramprojekt returträflis Värmeforsk Rapport 820; Stockholm, mars 2003.

- [35] Gyllenhammar, M, Herstad Svärd, S, Kjörk, A, Larsson, S, Wennberg, O och Eskilsson, D: *Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II*, Värmeforsk Rapport 840; Stockholm, januari 2003.
- [36] *Förbränning av utsorterade avfallsfraktioner*, Värmeforsk, projekt under utförande.

Bilagor

A Informationsinsamling

A.1 Förbränningsanläggningar, Sverige

AB Fortum Värme samägt med Stockholm stad

Örebro kartongbruk, Örebro

Kontaktperson: Stefan Jägerhill

Högdalen

Kontaktperson: Olle Jidinger

Gävle Energi AB, Gävle

Kontaktperson: Inger Lindbäck, Lucas Enström

Holmen Paper AB, Braviken, Norrköping

Kontaktperson: Karsten Jonsson

IQR Svenljunga Energi AB, Svenljunga

Kontaktperson: Sven-Arne Persson

Karlskoga Energi & Miljö AB, Karlskoga

Kontaktperson: Lennart Johansson

Lunds Energi AB, Lomma

Kontaktperson: Roland Olsson

Mälarenergi AB, Västerås

Kontaktperson: Ingrid Byström

Sydkraft Mälärvärme AB, Örebro

Kontaktperson: Anders Lejdholt

Sydkraft Östvärme AB, Norrköping

Kontaktperson: Bengt Heikne

Söderenergi AB, Södertälje

Kontaktperson: Per Oxelmark, Lennart, Ryk

Tekniska Verken i Linköping AB, Linköping

Kontaktperson: Michael Fahlström

Vattenfall Värme Uppsala AB, Uppsala

Kontaktperson: Johan Siilakka

Vattenfall Värme Norden, Kisa

Kontaktperson: Enar Andersson

A.2 Övriga organisationer

European Topic Center on Waste and Material Flows

Kontaktpersoner: Henrik Jacobsen

ISWA International Solid Waste Association

Kontaktperson: Jörgen Schultz, Håkan Rylander,

Dakofa, Köpenhamn, Danmark

Kontaktperson: Henrik Wejdling

Elsam, Fynsværket, Odense, Danmark

Kontaktperson: Nils-Ola Madsen

Miljøstyrelsen, Köpenhamn, Danmark

Kontaktperson: Anders Skou Jørgensen

Videncenter for Affald, Virum, Danmark

Kontaktperson: Anders Christiansen

AB Ekorosk Oy, Jakobstad, Finland

Kontaktperson: Henrik Nygård

Ewapower AB Oy, Finland

Kontaktperson: Styrbjörn Holm

Lassila Tikkanoja Oy, Helsingfors, Finland

Kontaktperson: Lassi Hietanen

VTT Processes, Finland

Kontaktperson: Tuula Mäkinen

Energos ASA, Stavanger, Norge

Kontaktperson: Rolf Seveland

Norsas AS, Oslo, Norge

Kontaktperson: Harald Damhaug

Sintef, Trondheim, Norge

Kontaktperson: Inge Røinaas Gran, Morten Grønli, Nils Røkke

Statens Forurensningstilsyn (SFT), Oslo, Norge

Kontaktperson: Bernt Ringvold

**Zweckverband Müllheizkraftwerk Stadt und Landkreis Bamberg, Bamberg,
Tyskland**

Kontaktperson: Dieter Reiman

RWE Umwelt AG, Viersen, Tyskland

Kontaktperson: Thomas Glorius

ÅF-Energi & Miljö AB

Kontaktperson: Lars Fritz

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
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35