

# Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 3

Jesper Cramer  
FORCE Technology

Bjørn Malmgren-Hansen  
Teknologisk Institut

Jørgen Overgaard  
JO Consult

Ole Hede Larsen  
Elsam A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>INDHOLD</b>	<b>3</b>
<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>7</b>
<i>Fase 1</i>	7
<i>Fase 2A</i>	8
<i>Fase 2B</i>	9
<i>Fase 3</i>	10
<i>Behandling af shredderaffald</i>	11
<i>Behandling af CCA-imprægneret affaldstræ</i>	13
<i>Behandling af læder- og garveriaffald</i>	13
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>17</b>
<i>Phase 1</i>	17
<i>Phase 2A</i>	18
<i>Treatment of shredder waste</i>	21
<i>Processing of CCA-impregnated waste wood</i>	23
<i>Treatment of leather- and tannery waste</i>	24
<b>1 AJOURFØRING AF VIDEN OM BEHANDLINGSMETODER</b>	<b>27</b>
<b>2 UNDERSØGELSE AF TEKNOLOGIER</b>	<b>33</b>
2.1 FULDSKALA-ANLÆG BESØGT I FASE 3	33
2.1.1 <i>Shredderaffald</i>	33
2.1.2 <i>Imprægneret affaldstræ (CCA, CCP, CKB, etc.)</i>	33
2.1.3 <i>Læder- og garveriaffald</i>	33
2.2 OVERSIGT OVER ALLE BESØGTE ANLÆG (FASE 2B + 3)	33
<b>3 SAMMENLIGNING AF BEHANDLINGSTEKNOLOGIER</b>	<b>35</b>
3.1 BEHANDLINGSTEKNOLOGIER EGNED E TIL SHREDDERAFFALD	36
3.1.1 <i>Mekanisk sortering og efterfølgende termisk behandling</i>	37
3.1.2 <i>Behandlingsmetoder til af shredderaffald uden forbehandling</i>	40
3.1.3 <i>Omkostninger for teknologier til behandling af shredderaffald</i>	42
3.2 BEHANDLINGSTEKNOLOGIER TIL CCA-IMPRÆGNERET AFFALDSTRÆ	47
3.3 BEHANDLINGSTEKNOLOGIER TIL LÆDER- OG GARVERIAFFALD	48
<b>4 FORSLAG TIL DANSKE STRATEGIER</b>	<b>49</b>
4.1 STRATEGI FOR SHREDDERAFFALD	49
4.2 STRATEGI FOR IMPRÆGNERET TRÆAFFALD	52
4.2.1 <i>Økonomiske betragtninger</i>	52
4.2.2 <i>Strategi med genvinding af metaller</i>	53
4.2.3 <i>Strategi uden genvinding af metaller</i>	54
4.3 STRATEGI FOR LÆDER- OG GARVERIAFFALD	55
<b>5 BELÆGNINGSDANNELSER I KEDLER OG VARMEVEKSLERE</b>	<b>56</b>
5.1 INDLEDNING	56
5.2 TEORETISKE OVERVEJELSER AF PROBLEMERNES NATUR	56
5.2.1 <i>Korrosionsmekanismer</i>	56
5.2.2 <i>Belægningsdannelse</i>	58

5.3	AFFALDSSAMMENSÆTNINGENS INDFLYDELSE PÅ KORROSION OG BELÆGNINGSDANNELSE	59
5.3.1	<i>Shredderaffald</i>	59
5.3.2	<i>Imprægneret affaldstrø</i>	61
5.3.3	<i>Læder- og garveriaffald</i>	61
5.4	PRAKTISKE ERFARINGER	61
5.5	LØSNINGSMULIGHEDER	61
5.5.1	<i>Primære tiltag</i>	62
5.5.2	<i>Sekundære tiltag</i>	62
5.6	KONKLUSION	64
<b>6</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>67</b>

## Bilag A Adresseliste for udvalgte virksomheder

### Besøgsrapporter

Bilag B	Borge Garveri (PyroArc)	Termisk
Bilag C	H.J. Hansen Miljøsystem	Mekanisk
Bilag D	Högdalenverket (Birka Energi)	Termisk
Bilag E	Igelstaverket (Söderenergi)	Termisk
Bilag F	Organic Power	Termisk
Bilag G	Procone	Termisk
Bilag H	R-plus	Mekanisk
Bilag I	S+S	Mekanisk
Bilag J	Salyp	Mekanisk
Bilag K	SSE	Mekanisk
Bilag L	SVZ, Schwartze Pumpe	Mekanisk/termisk



# Forord

Denne projektrapport markerer afslutningen på projektet "Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald – Fase 3" og for hele projektet. I projektet er siden 1998 undersøgt det internationale teknologiske stadi for behandlingsteknologier til shredderaffald, imprægneret træaffald, læder- og garveriaffald, og galvanoaffald. Resultaterne af undersøgelsen er offentliggjort i rapporter:

1. Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 1: .....1999
2. Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 2A: ...2000  
Prioriteringsplan for besøg på virksomheder
3. Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 2B: ....2001
4. Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 3: .....2002

I denne sidste rapport sammenligner vi alle de tilgængelige teknologier, der er besøgt og undersøgt i detaljer i faserne 2b og 3. Vi foreslår desuden en strategi for behandlingen af shredderaffald, imprægneret træaffald og læder- og garveriaffald i Danmark.

Udover det oprindelige formål, har projektet medvirket til at skabe et netværk mellem de mange danske og udenlandske aktører og potentielle investorer.

Alle projektets faser er udført af fagmedarbejdere hos dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ, Teknologisk Institut, JO Consult, AB Torsburgen og H.J. Hansen Miljøsystem A/S, mens Tech-wise A/S og Elsam A/S alene har deltaget i fase 3.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ	Jesper Cramer
Teknologisk Institut	Bjørn Malmgren-Hansen
JO-Consult	Jørgen Overgaard
Tech-wise a/s	Michael Skov Johansen
Elsam A/S	Ole Hede Larsen
AB Torsburgen	Åke Holmström
H.J. Hansen Miljøsystem A/S	Erling Møller Nielsen

Samarbejdet frem mod denne rapport er blevet koordineret med en styregruppe, der ud over ovennævnte har haft følgende deltagere:

Miljøstyrelsen	Tonny Christensen
Arbejdstilsynet	Annette Christiansen
Elsam A/S	Ivan Hundebøl
Energi E2 A/S	Erik Winther
Genvindingsindustrien	Klaus Müller
Kommunekemi a/s	Ole Kristensen
Kommunernes Landsforening	Niels Remtoft
Miljøkontrollen i København	Finn Rasmussen
Plastindustrien i Danmark	Lars Blom
Renosam	Henning Jørgensen
Århus Kommunale Værker, Affaldskontoret	Henning Ettrup

Rapportens forfattere ønsker hermed at sige tak til Miljøstyrelsen for projektets finansiering og til styregruppens deltagere for deres medvirken. Vi ønsker også at takke de mange virksomheder verden over, der har besvaret projektets henvendelser og bidraget med detaljerede informationer om deres anlæg og processer. Endelig retter vi en speciel tak til de virksomheder, som viste deres procesanlæg frem.

Januar 2003

# Sammenfatning og konklusioner

## Baggrund og formål

Projektet "Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald" er igangsat af Miljøstyrelsen med baggrund i debatoplægget "Erhvervsaffald og udvalgte affaldsfraktioner" fra 1997. Debatoplægget fremhæver udviklingen af alternative behandlingsmetoder som et nødvendigt indsatsområde, der skal gøre det muligt at udnytte affaldets energi- og råstofressourcer.

Målet med projektet er at give aktører i den danske affaldssektor en fuldt opdateret baggrundsviden om internationale erfaringer med behandlingsteknologier til de tungmetalholdige affaldsfraktioner shredderaffald, CCA-imprægneret affaldstræ og læder- og garveriaffald. Den nye viden vil kunne danne baggrund for den danske strategi på området og dermed valget af de teknologier, der skal indføres eller udvikles i Danmark.

## Identifikation og undersøgelse af relevante teknologier

I projektet har vi identificeret, undersøgt og sammenlignet internationale anlæg eller teknologier, der kan behandle affald med høje koncentrationer af tungmetaller og foreslår strategier for, hvordan især tre problematiske affaldsfraktioner (shredderaffald (SHR), CCA-imprægneret affaldstræ og læder- og garveriaffald) kan behandles i Danmark. Mulighederne for at behandle andre problematiske affaldsstrømme med de samme teknologier er også blevet vurderet. Vi har desuden fokuseret på mulige løsninger af problemer med korrosion og belægningsdannelse i anlæg, der udnytter energien i affaldet.

Teknologierne er blevet vurderet ud fra følgende kriterier:

- Effektivitet i forhold til genanvendelse af metaller og andre stoffer
- Økonomi
- Miljøbelastning
- Arbejdsmiljø
- Driftssikkerhed
- Energiudnyttelse / -forbrug
- Mulighed for tilpasning til den danske affaldsstruktur

Projektet er gennemført i følgende faser 1, 2A, 2B og 3.

### Fase 1

Opgaverne i projektets første fase, der sluttede i 1999, var:

- Afklaring af størrelsen og genanvendelsespotentialen for de affaldsfraktioner, der kunne komme på tale
- Vurdering af den forventede sammensætning af de relevante affaldsfraktioner
- Indhentning af information om internationale erfaringer med behandling af affaldsfraktioner med høje koncentrationer af tungmetaller.
- Evaluering af disse erfaringer.
- Udvælgelse af de mest lovende teknologier til dyberegående analyse.

Resultaterne af første fase, der er offentliggjort i rapporten: "Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 1" var, at de videre undersøgelser burde fokuseres på behandling af shredderaffald, CCA-imprægneret affaldstræ og læder- og garveriaffald. Projektet identificerede og vurderede 11 relevante teknologier, som arbejdede med shredderaffald, mens vi ikke fandt fuldskala-erfaringer med behandling af CCA-træ eller læder- og garveriaffald.

De mest lovende anlægsleverandører og behandlere til shredderaffald var på dette tidspunkt (1999):

Leverandør/behandler	Proces
CT Environment	Mekanisk neddeling og separation i flere metalfraktioner og en brændbar fraktion, der forbrændes ved høj temperatur. Genanvendelse af metaller
EBARA / ABB	Fluid-bed pyrolyse/forgasning med genanvendelse af metaller
Mannesmann Demag Umwelttechnik GmbH	Pyrolyse i roterovn
NEXUS	Batch-pyrolyse i kammerovn med separation af jern og ikke-jern-metaller fra koks
PKA Umwelttechnik GmbH & Co. KG	Pyrolyse i roterovn, mekanisk/magnetisk separation af jern og ikke-jern-metaller, samt forglasning af mineraler
Seiler	Forgasning i roterovn, mekanisk/magnetisk separation af jern og ikke-jern-metaller, samt forglasning af mineraler
Sekundärrohstoff Verwertungszentrum Schwartze Pumpe GmbH	Mekanisk/magnetisk separation af jern og ikke-jern-metaller, samt forgasning af organisk rest sammen med brunkul
Takuma	Pyrolyse i roterovn og mekanisk/magnetisk separation af jern og ikke-jern-metaller, samt forglasning af mineraler (Siemens KWU licens)
Thermoselect	Komprimering og højtemperaturpyrolyse/forgasning. Producerer syntesegas, mineralsk slagge og kobberholdig metallegering
Von Roll	Pyrolyse på rist med efterfølgende udvinding af jern-kobberlegering i smelteproces og zink-bly-koncentrat ved ekstraktion

Tre processer blev identificeret som måske egnede til at behandle CCA-træ, idet ingen af disse tre processer genvinder eller stabiliserer tungmetaller, men udnytter kun energien.

Leverandør / behandler	Proces
Lurgi / Geertruidenberg	Fluid-bed forgasningsanlæg
Procone GmbH / Espenhain	Variant af medstrømsforgasser med produktion af kraft/varme via gasmotor
British Lurgi / SVZ - Schwartze Pumpe GmbH	Forgasning af imprægneret træ sammen med brunkul i tryksat forgasser

## Fase 2A

Projektets næste fase (2A), som sluttede i år 2000, havde til formål at:

- kontakte alle virksomheder prioriteret under fase 1 med henblik på at:
  - fastslå deres udviklingsmæssige status
  - opdatere tekniske og økonomiske oplysninger fra fase 1
  - indhente detaljerede oplysninger om nye processer
  - beskrive og vurdere disse nye processer
  - afklare muligheden for at overvære drift/forsøg med relevant affald i længere tid

- afklare behovet for korte besøg på relevante anlæg
- at udvælge de fem mest relevante virksomheder til et længerevarende besøg
- at udvælge 1-2 virksomheder til korte besøg

Resultatet af fase 2A var en prioriteringsplan med arbejdsplan og budget for besøg på disse processer/virksomheder (L: langt besøg, K: kort besøg):

Procesleverandør / behandler	Erfaringer med	L	K
Chartherm	CCA-imprægneret affaldstræ		X
CT Environment	SHR	X	
EBARA / ABB	SHR, plastaffald, MSW, RDF, slam, industriaffald	X	
H.J. Hansen Miljøsystem A/S	SHR		X
Lurgi Envirotherm GmbH	Affaldstræ, celluloseaffald	X	
Nexus	SHR, læder, plastaffald, MSW, dæk		X
PKA Umwelttechnik GmbH & Co	SHR, plastaffald, MSW, slam		X
Result Technologies	Elektronik skrot / SHR		X
Salyp	SHR		X
Takuma	SHR	X	
Von Roll AG	MSW	X	

Der er i hele projektets forløb sket en meget hurtig udvikling af teknologier, der kan behandle affald med højt indhold af tungmetaller. Der udvikles stadig nye metoder, mens andre har skiftet ejere, har stoppet udviklingen eller er gået konkurs. Vi har derfor igennem alle projektets faser løbende holdt kontakt til udviklingsvirksomhederne og omprioriteret vores indsats mod de mest væsentlige teknologier. Flere af de relevante anlæg/processer var desværre kun i drift med affald med andre men dog sammenlignelige typer affald.

### Fase 2B

I fase 2B, der sluttede i 2001, gennemførte vi efter en løbende prioritering længere besøg hos:

Procesleverandør / behandler	Affald
CT Environment	Shredderaffald og røggasrensingsprodukt fra MSW
EBARA/Alstom Power	Shredderaffald og slam
von Roll AG	Shredderaffald

og korte besøg hos:

Procesleverandør / behandler	Affald
Mitsui	Industri- og husholdningsaffald
PKA	Industriaffald med meget aluminium
Takuma	Shredderaffald
Kawasaki Steel (Thermoselect)	Industri- og husholdningsaffald

Alle de besøgte anlæg er valgt med fokus på termisk behandling af shredderaffald. De syv relevante teknologier er nøje beskrevet i form af besøgsrapporter i: "Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald - Fase 2B". Rapporten indeholder desuden en beskrivelse af teknologien udviklet hos Citron AG og

EPR-processen, som vi dog vurderer ikke er relevante til behandling af nogen af de tre affaldsfraktioner.

### Fase 3

Projektets fase 3, som beskrives i denne rapport, er en direkte forlængelse af fase 2B og indeholder en detaljeret undersøgelse af 11 teknologier. De studerede teknologier var dels de processer, som det ikke var muligt at bearbejde i af økonomiske årsager i fase 2B - specielt mekaniske sorteringsprocesser til shredderaffald - og dels ny interessante processer til læder- og garveriaffald og CCA-imprægneret affaldstræ.

Fase 3 indeholdt følgende delopgaver:

1. Ajourføring af viden om behandlingsmetoder.
2. Undersøgelse af teknologier.
3. Sammenligning af behandlingsteknologier.
4. Forslag til danske strategier.
5. Mulige løsninger på problemer med korrosion og belægningsdannelse på hedeblader.

Under ajourføringen af viden fandt vi flere nye mekaniske separationsteknologier som R-plus, S+S og SSE samt tidligere kendte processer, som var kommet til et udviklingsniveau, der krævede en detaljeret undersøgelse, fx Pyroarc-processen, Salyp og Procone.

I fase 3 har vi prioriteret, besøgt og vurderet følgende teknologier:

Procesleverandør / behandler	Procestype	Affald
/ H.J.Hansen Miljøsystem A/S	Neddeling og mekanisk separation	Shredderaffald
Foster Wheeler / Høgdalen-verket	CFB forbrænding	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap
Foster Wheeler / Igelstaverket	FB forbrænding	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap
Organic Power ASA	Tværstrøms-/medstrøms-forgasning	Sorteret industriaffald
Procone	Speciel medstrømsforgasser	Rent affaldstræ
PyroArc / Borge Garveri AS	Skaktovnsforgasser med plasma-krakning af tjære	Læder- og garveriaffald
/ R-plus	Mekanisk neddeling og sortering	Shredderaffald
S+S	Maskiner til mekanisk separation	Shredderaffald, metaller
Salyp	Mekanisk separation	Shredderaffald
British Lurgi / SVZ - Schwartze Pumpe	Mekanisk separation og forgasning	Industriaffald, MSW, SHR, jernbanesveller, mv.
SSE	Maskiner til mekanisk separation	Shredderaffald, metaller, mineraler

De 11 teknologier er nøje beskrevet i form af besøgsrapporter i bilag B-L.

### Konklusioner

Ved dette projekts start i 1998 blev vi præsenteret for en hel række teknologier og virksomheder, der tilsyneladende var egnede til behandling af de prioriterede affaldsfraktioner. Nu ved projektets afslutning næsten 5 år senere, må vi i

2003 konstatere, at der nu kun består en lille håndfuld af tilsyneladende levedygtige teknologier og virksomheder, der kan være interessante for danske investorer og affaldsbehandlere.

Investering i en eller flere af disse teknologier må dog fortsat betragtes som risikofyldt, og den foreslåede danske strategi må derfor betragtes mere som en udviklingsstrategi end som en færdig og klarlagt vej til behandling af de aktuelle danske affaldsfraktioner.

## Sammenligning af behandlingsteknologier

### Behandling af shredderaffald

Alle de undersøgte processer til shredderaffald udskiller frie metaller af affaldet og udnytter energien. Flere processer producerer udelukkende stabile produkter, der enten kan sælges, benyttes som vejfyld eller byggematerialer eller deponeres på almindelige lossepladser.

De samlede behandlingsomkostninger varierer fra ca. 470 til 1.091 DKK/t SHR for et anlæg med en kapacitet på 50.000 t SHR/år.

Procesteknologierne til shredderaffald deler sig i to grupper:

1. Mekanisk sortering efterfulgt af termisk proces (pyrolyse, forgasning, forbrænding, etc.)
2. Termisk proces uden forbehandling

### *Mekanisk sortering efterfulgt af termisk proces*

#### *Mekanisk sortering*

Metoderne hos H. J Hansen og R-plus opnår stort set de samme resultater. Begge processer fungerer så godt og fjerner så mange metaller fra shredderaffaldet, at dette er egnet til termisk behandling. Suppleres metoderne med plastseparation (som fx Salyp) eller en simpel vægtfyldeseparering, vil der af den grove fraktion i begge processer kunne genvindes plast. Udviklingen inden for mekanisk sortering er i rivende udvikling både hvad angår sensorsystemer og sorteringsmekanismer (Salyp, SSE, S+S, LLA, m.fl.)

#### *Efterfølgende termiske processer*

CT-Environment og von Roll har i større pilotforsøg vist, at deres teknologier kan behandle sorteret shredderaffald.

CT-Environment har i fuld skala vist, at deres smeltecyklon kan behandle shredderaffald samtidig med røggasrensingsprodukt fra affaldsforbrændingsanlæg. Processen fremstiller en metalsmelte og en glasagtigt mineralsk slagge, hvis sammensætning sandsynligvis vil medføre, at slaggen kan overholde de danske krav i slaggekategori II. CT-Environment har ikke eftervist, at de selv behersker teknologi til forbehandling. Schweiz har medio 2002 valgt CT-Environments teknologi til oparbejdning shredderaffald. Moderselskabet til CT-Environment, Babcock Borsig Power er i skrivende stund under konkursbehandling. CT-Environment er netop blevet rekonstrueret med en ny ejerstab.

Von Roll behersker teknologier til termisk behandling af shredderaffald (bl.a. riste-pyrolyse). Von Rolls slaggebehandlingsovn giver en helt speciel mulighed

for at kontrollere slaggesammensætningen, en interessant mulighed som ikke er set praktiseret af andre. Von Roll tilbyder både ristepyrolyseprocessen og deres smelteteknologi på kommercielle vilkår til behandling af shredderaffald.

Sammenligning CT-Environment og Von Roll:

- von Rolls proces kræver etablering af en ekstra mekanisk forsorteringsproces, hvis den skal kunne udvinde metaller af høj kvalitet.
- von Rolls smelteteknologi vil kunne reducere oxider af kobber og jern til de frie metaller. Oxider af jern og kobber vil i CT-Environments teknologi indgå i slaggen.
- von Rolls behandlingspris anslår vi til 1.091 DKK/t SHR ved 45.000 t/år, mens CT-Environments pris er lavere, ca. 470 DKK/t SHR ved 100.000 t/år, idet CT's anlæg samtidigt behandler en tilsvarende mængde røggasrensingsprodukt fra affaldsforbrændingsanlæg.
- Begge teknologier har i andre sammenhænge vist sig driftsikre, men langtidserfaringer med shredderaffald findes ikke.
- Begge teknologier vil kapacitetsmæssigt kunne tilpasses den danske affaldsstruktur og vil kunne behandle andre affaldstyper samtidigt, hvilket CT-Environment har demonstreret.

SVZ's, KSK's og PyroArcs skaktovnsprocesser og Kawasakis kombination af pyrolyse i en kanal og en skaktovn kan med visse begrænsninger behandle shredderaffald. Skaktovnsprocesserne kræver alle, at shredderaffaldet tilføres som briketter, der er stabile over 1000 °C. SVZ og PyroArc mener at have løst dette problem, men egentlige driftserfaringer findes ikke. Kawasakis proces kræver supplerende tilførsel af kul. Pyrolysekanalen og indfødningsystemet har problemer med shredderaffald.

#### *Termisk proces uden forbehandling af shredderaffald*

Ebara og Takuma er de to eneste dokumenterede velfungerende termiske og mekaniske processer, der behandler shredderaffald. Ebara og Takuma har 3 og 4 års driftserfaringer fra hvert sit kommercielle anlæg og kan tilbyde anlæg internationalt med garantier.

Sammenligning Ebara og Takuma:

- Begge processer udvinder jern, kobber og aluminium i blandinger af affaldet og fremstiller et mineralsk granulat, som sandsynligvis vil kunne overholde de danske krav i slaggekategori II. Størsteparten af Zn og Pb ender i røggasrensingsproduktet, som deponeres.
- Behandlingsomkostningerne forventes for begge processer at ligge i størrelsesordenen 880 DKK/t SHR.
- Begge teknologier kan uden problemer tilpasses de danske krav til arbejdsmiljø og miljøpåvirkninger.
- Takuma har været i drift i ca. 4 år og har behandlet ca. 100.000 tons shredderaffald. EBARA har været i drift i snart 3 år og har behandlet over 120.000 tons shredderaffald.
- Ebaras og Takumas processer har samme energiudnyttelse af affaldet.
- Begge teknologier vil kunne tilpasses den danske affaldsstruktur. Kapacitetsmæssigt vil dette ikke give problemer, ligesom begge processer vil kunne behandle andre affaldstyper som røggasrensingsprodukter samtidigt.



PKA har udviklet en proces, hvis energi-output er en brændbar gas. PKA har ikke fuldskalaerfaringer med shredderaffald, men har gennemført forsøg på et pilotanlæg. PKA er pt. under konkursbehandling.

Mitsuis proces er næsten identisk med Takumas, men Mitsui har koncentreret sig om husholdningsaffald.

### **Behandling af CCA-imprægneret affaldstræ**

Der findes kun én kommerciel proces til behandling af imprægneret affaldstræ - et finsk genbrugssystem til imprægnerede stolper, sveller, mm., men det har ikke været muligt at få nogen form for detaljeret information om de anvendte teknologier. Processen består af en patenteret forbrændingsproces efterfulgt af en kemisk oparbejdning af asken til nyt imprægneringsmiddel. Selve oparbejdningsprocessen kan ikke umiddelbart overføres til Danmark, da CCA-imprægnering ikke er tilladt, og da typen af den termiske proces er ukendt.

Flere processer er under udvikling:

- Kommunekemi A/S har gennemført pilotforsøg med modtrømsforgasning og kemisk oparbejdning af asken og arbejder også med en proces baseret på lavtemperaturpyrolyse.
- Watech A/S arbejder med separationsprocesser, der kan fjerne tungmetaller i aske fra CCA-imprægneret træ, PVC, shredderaffald, mm.
- Udviklingsarbejde med PyroArc-processen indikerer, at denne og lignende skaktovnsprocesser sandsynligvis vil kunne behandle CCA-imprægneret affaldstræ sammen med jernholdigt materiale fx oparbejdet shredderaffald. Processen vil da producere et hårdt bundet arsen-restprodukt og en slagge, som sandsynligvis vil kunne afsættes.

### **Behandling af læder- og garveriaffald**

På Borges Garveri i Norge findes det eneste kommercielle anlæg, der behandler læder- og garveriaffald. Anlægget er baseret på Enviroarcs skaktovnsforgasser (Pyroarc) og producerer en jern-krom-legering og smeltet slagge til genanvendelse. Anlægget har været i drift i ca. 1 år. Enviroarc har med succes af prøvet processen i pilotskala med shredderaffald og imprægneret affaldstræ.

### **Danske strategier**

#### **Strategi for behandling af shredderaffald**

Vi forventer, at der i den nærmeste fremtid skal behandles ca. 100.000 t SHR/år i Danmark. Sammensætningen af affaldet vil stort set være som i 1996, men med en lidt lavere brændværdi (12 MJ/kg).

Procesteknologierne til shredderaffald deler sig i to grupper:

1. Mekanisk sortering efterfulgt af termisk proces (pyrolyse, forgasning, forbrænding, etc.).
2. Termisk proces uden forbehandling.

Der eksisterer i dag teknologier, som kan genvinde energien og nyttiggøre shredderaffaldet i en sådan grad, at EU-direktivet om udrangerede køretøjer kan opfyldes såvel i 2006 som i 2015.

De umiddelbart tilgængelige teknologier fra gruppe 2 er: EBARA og Takuma, der må betegnes som første generationsprocesser. Til gruppe 1 hører sandsynligvis CT-Environment i kombination med mekaniske sorteringsprocesser som hos R-plus eller H. J. Hansen. CT-Environment endnu ikke er nået til første generation.

Ved fastlæggelsen af strategien for den fremtidige behandling af shredderaffald bør indgå overvejelser om:

- Medsmeltning af andet problematisk affald (fx røggasrensningsprodukt)
- Nye muligheder for udsortering med ny sensor- og computerteknologi
- Reduceret brændværdi pga. udsortering af plast
- Medforbrænding af trykimprægneret træ for at opnå tilstrækkelig brændværdi til smeltning af slaggen
- Behandling sammen med trykimprægneret træ i en kombineret proces hvor træet tilsættes i smelteprocessen for at opnå tilstrækkelig brændværdi til smeltning af slaggen (fx skaktforgassere som Pyroarc)

Før der vælges teknologi, råder vi derfor til, at der gennemføres studier af:

1. De økonomiske og miljømæssige muligheder for yderligere udsortering af plast.
2. Relevansen af genvinding af tungmetaller enten i den mekaniske forsortering eller i en efterfølgende termisk proces.
3. Andre muligheder for energiudnyttelse end kraft/varme-produktion.
4. Mulighederne for opgradering af slaggen fra den termiske proces til højværdigt konstruktionsmateriale eller råmateriale.
5. Miljømæssige og økonomiske aspekter ved medforbrænding af husholdnings- og industriaffald.

### **Strategi for behandling af CCA-imprægneret affaldstræ**

Hovedindsatsen i behandlingen af CCA-imprægneret affaldstræ bør koncentreres om løsningen af problemerne med det meget giftige As, der skal stabiliseres, så det på den billigste måde kan deponeres uden risiko for miljøet. En mulighed er at behandle affaldstræet sammen med en mindre mængde shredderaffald, som er oprenset for frie metaller eller læder- og garveriaffald med jern fra slam behandlingsprocesser i en proces, der binder As i stabile jern- eller kobberforbindelser.

Brændværdien i affaldstræet skal udnyttes effektivt for at sikre en så stor CO<sub>2</sub>-fortrængning som muligt.

Genvindingen af Cu og Cr fra CCA-imprægneret affaldstræ må vurderes nøje i forhold til de behandlingsomkostninger, som er forbundet med oparbejdningen. I det omfang Cu og Cr ikke genvindes, bør de under alle omstændigheder stabiliseres, så aske, slagge og andre restprodukter kan deponeres uden risiko for miljøet.

Detaljerne omkring det finske genbrugssystem, som producerer nyt imprægneringsmiddel, er ukendte. På grund af den manglende information om processen kan vi derfor ikke anbefale at overføre dette system til Danmark.

Ved fastlæggelsen af strategien for den fremtidige behandling af imprægneret affaldstræ bør indgå overvejelser en kombineret proces, hvor shredderaffald eller garveriaffald behandles samtidigt med trykimprægneret træ (fx muligvis Pyroarc).

### **Strategi for behandling af læder- og garveriaffald**

Enviroarcs proces, som den er demonstreret hos Borge Garveri, vil kunne overføres til Danmark. Det danske potentiale for denne type affald er kun ca. 4.700 t affald/år, hvilket forventes at medføre forholdsvis høje behandlingsomkostninger på 1.500-2.000 DKK/t affald. Tilføres andet affald vil behandlingsprisen kunne reduceres væsentligt.

I valget af strategi bør også indgå overvejelser om at behandle læderaffald sammen med aske fra neddelt imprægneret træ, som forgasses, forbrændes i fluid bed anlæg eller behandles i andre anlæg uden smelteenhed. Krom og kobber vil sandsynligvis kunne udvindes af asken i en smelteovnsproces.

### **Belægningsdannelse og korrosion**

Shredderaffaldets høje indhold af Cl, alkali og tungmetaller i forhold til normalt husholdnings- og industriaffald betyder, at der er en kraftigt forøget risiko for korrosions- og belægningsproblemer i kedler til kraftvarmeproduktion.

Der er kun meget få driftserfaringer under de rette betingelser i de nødvendige 1-2 år, hvilket betyder, at disse problemer endnu ikke kan kvantificeres.

I rapporten angiver vi en række muligheder for at løse de meget sandsynlige problemer med nedbrydning af ildfaste foringer, korrosion af fordamperhedeflader under ildfaste foringer og efter afslutning af ildfaste foringer samt korrosion af fordampere.

Vi vurderer, at korrosionsbeskyttelse af især fordamperhedeflader med Inconel oversvejsninger vil give en reduktion af vedligeholdelsesomkostninger og forbedret rådighed, som langt overstiger de ekstra anlægsomkostninger.

### **Afslutning**

Ved afslutningen af projektet må vi konstatere, at der stadig er et stykke vej endnu før de idriftværende anlæg kan betegnes som velafprøvede og robuste teknologier.

Ebara og Takuma kan betegnes som 1. generations anlæg, medens CT-Environment må betegnes som et 0. generations anlæg.

Dette betyder, at der kan forventes ukendte problemer ved længere tids drift, men til gengæld også, at der er uafprøvede muligheder for optimering af anlæggene, deres produkter og deres drift, hvilket på sigt sandsynligvis vil medføre væsentlig lavere omkostninger pr. behandlet ton affald.

Der er stadig behov for at følge erfaringerne i de få anlæg, der kører kommercielt og de anlæg, der er under planlægning eller konstruktion. Flere interessante teknologier er på vej hos Enviroarc, Kommunekemi, Watech, mfl.

Der er behov for at opstille krav til idealanlæg(gene), der skal behandle de prioriterede affaldsfraktioner.

Det bør overvejes, hvor danske virksomheder og udviklingsmiljøer kan være med i udviklingen/afprøvningen af nye teknologier.

Mange af processerne vil med få eller ingen tilpasninger vil kunne overføres til behandling af MSW.

# Summary and conclusions

## Background and objectives

The project "Methods for Treatment of Waste Containing Heavy Metals" was started on the initiative of the Danish Environmental Protection Agency on the basis of the discussion paper "Industrial waste and selected waste fractions" from 1997. The discussion paper points out the development in alternative methods for treating wastes as a necessary contribution that makes it possible to recover resources in the form of energy and raw material.

The objective of the project is to give players in the Danish waste sector fully updated knowledge about international experience in technologies for treating shredder waste, impregnated waste wood, and tannery and leather waste. This new knowledge will be used to form the background for a new Danish strategy for waste handling and the choice of technology to be introduced in or to be developed for Denmark.

## Identification and investigation of relevant technologies

The project has identified, investigated and compared international plants and technologies for treating wastes with high content of heavy metals. Based on these studies, the project proposes strategies for treating and handling especially shredder waste, waste wood and tannery and leather waste in Denmark. An evaluation of the different technologies and their possibilities to treat other problematic waste streams has also been made. Finally, focus has been on possible solutions for avoiding corrosion and deposits in plants for energy production.

The technologies have been evaluated on the basis of following criteria:

- The effectiveness of the technology to recover and reuse metals and other materials.
- Economy.
- Environmental impact.
- Working environment.
- Dependability.
- Energy yield.
- Possibilities to fit in the technology in the Danish waste structures.

The project includes the phases: 1, 2A, 2B and 3.

## Phase 1

Phase 1 was finished in 1999, and the tasks in this part were:

- Estimation of the amount of the selected wastes, and estimation of the potential for reuse of metals and materials from the selected wastes.
- Estimation of expected present and future composition of relevant waste fractions.
- Gathering of information about international experience in treating waste fractions with high content of heavy metals.

- Evaluation of such experience.
- Selection of the most promising technologies for further investigation.

The results of the work in phase 1 are published in the report "Methods for Treatment of Waste Containing Heavy Metals - Phase 1". The main conclusions in this report were that further investigation should focus on treatment of shredder waste, impregnated waste wood, and tannery and leather waste. During the project period, 11 relevant technologies for treating shredder waste were identified, while no full-scale experiences for treating impregnated waste wood or tannery and leather waste were identified.

The most promising plant suppliers or plant operators for treating shredder waste (at that time, 1999) were:

Plant supplier / operator	Process
CT Environment	Mechanical down-sizing and separation into fractions containing metals and a fraction containing a combustible fraction. This fraction is burned at high temperature. Recycling of metals.
EBARA / ABB	Fluid-bed pyrolysis / gasification and recycling of metals.
Mannesmann Demag Umwelttechnik GmbH	Pyrolysis in rotary kiln.
NEXUS	Batch-pyrolysis in a furnace with separation of iron and non-iron metals from the coke.
PKA Umwelttechnik GmbH & Co. KG	Pyrolysis in a rotary kiln, mechanical/magnetic separation of iron and non-iron metals and melting of minerals into a glassy slag.
Seiler	Pyrolysis in a rotary kiln, mechanical/magnetic separation of iron and non-iron metals and melting of minerals into a glassy slag.
Sekundärrohstoff Verwertungszentrum Schwartze Pumpe GmbH	Mechanical/magnetic separation of iron and non-iron metals and gasification of organic fraction mixed with brown coal.
Takuma	Pyrolysis in a rotary kiln, mechanical/magnetic separation of iron and non-iron metals and melting of minerals into a glassy slag. (Siemens KWU licence)
Thermoselect	Compression and high temperature gasification. Production of gas, glassy slag and an iron-copper alloy.
Von Roll	Pyrolysis on a grid and melting. Production of a glassy slag and an iron-copper alloy.

Only three technologies were identified as being possibly qualified for treating impregnated waste wood. The reason why these technologies are only possibly qualified is that none of them recycle the metals in the waste or stabilise the metals. Only the energy content is utilised.

Plant supplier / operator	Process
Lurgi / Geertruidenberg	Fluid-bed gasifier
Procone GmbH / Espenhain	Variation of gasifier combined with production of power and heat via gas engine.
British Lurgi / SVZ - Schwartze Pumpe GmbH	Gasification of impregnated wood mixed with brown coal in a pressurized gasifier.

#### Phase 2A

The objectives of phase 2A of this project were:

- Contact to all companies with priority from phase 1, in order to:

- => determine the status for the development,
- => update technical and economic information from phase 1,
- => collect detailed information on new processes,
- => describe and evaluate these new processes,
- => make agreements for participating in trials at relevant plants,
- => make agreements for visiting relevant plants
- Select the five most interesting plants for a long visit, and
- Select one or two relevant plants for short visits.

The result of phase 2A was an action plan and a budget for visiting the following plants / companies: (L: long visit. S: short visit)

Plant supplier / operator	Experiences concerning	L	S
Chartherm	CCA-impregnated waste wood		X
CT Environment	Shredder waste, SHR	X	
EBARA / ABB	SHR, plastic waste, MSW, RDF, sludge, industrial waste	X	
H.J. Hansen Miljøsystem A/S	SHR		X
Lurgi Envirotherm GmbH	Waste wood, cellulose waste	X	
Nexus	SHR, leader, plastic waste, MSW		X
PKA Umwelttechnik GmbH & Co	SHR, plastic waste, MSW, sludge		X
Result Technologies	Electronic scrap / SHR		X
Salyp	SHR		X
Takuma	SHR	X	
Von Roll AG	MSW	X	

During the entire project period, a very rapid development of technologies for treating heavy-metal contaminated waste has occurred. New technologies have been developed, other technologies have been taken over by new owners, and some have stopped further development or have gone bankrupt. In all the phases of the project, close contact has been established with all the interesting players, and priorities have been currently changed, depending on the development within the most relevant technologies. However, some of the relevant technologies were in operation with other but still comparable types of waste.

### Phase 2B

Phase 2B was finished in 2001, and the long visits, which were reprioritised several times in this phase were:

Plant supplier / operator	Waste
CT Environment	SHR and filter dust from incineration of MSW
EBARA/Alstom Power	SHR and sludge
von Roll AG	SHR

And shor visits were paid to:

Plant supplier / operator	Waste
Mitsui	Industrial waste and MSW
PKA	Industrial waste with high content of aluminium
Takuma	SHR
Kawasaki Steel (Thermoselect)	Industrial waste and MSW

All the visits were planned with a view to focusing on thermal treatment of shredder waste. The visits relating to the seven relevant technologies are reported in the report: "Methods for Treatment of Waste Containing Heavy Metals – Phase 2B". In addition, this report contains descriptions of technologies developed by Citron AG and EPR. It is concluded that these two technologies are not qualified for treating shredder waste, impregnated waste wood, or tannery or leather waste.

### Phase 3

Phase 3 of the project is described in the present report, which is a direct follow-up of the report for phase 2B. The present report contains descriptions of detailed studies of 11 technologies: partly technologies that, for economic reasons, could not be investigated in phase 2B – especially mechanical separation technologies for shredder waste – and partly new interesting technologies for treating impregnated waste wood and leather and tannery waste.

Phase 3 includes the following tasks:

1. Update of know-how on technologies.
2. Investigation of technologies.
3. Comparison of the investigated technologies.
4. Proposals for a Danish strategy.
5. Investigations of possible solutions to avoid corrosion and deposits in boilers.

During task 1 in phase 3, several new mechanical separation technologies were found, for example R-plus, S+S, and SSE. In addition, some previously known technologies have developed further, to a level that now makes them interesting for more detailed study. These are, for example, the Pyroarc process, Procone and Salyp.

In phase 3, the following priority and visits were made:

Plant supplier / Operator	Type of Process	Waste
/ H.J.Hansen Miljøsystem A/S	Mechanical down sizing and separation	Shredder waste
Foster Wheeler / Høgdalen-verket	CFB combustion	Waste wood, peat, plastic waste, paper, cardboard
Foster Wheeler / Igelstaverket	FB combustion	Waste wood, peat, plastic waste, paper, cardboard
Organic Power ASA	"Cross-flow"-/co-current gasifier	Upgraded industrial waste
Procone	Special co-current gasifier	Clean waste wood
PyroArc / Borge Garveri AS	Shaft gasifier with plasma cracking of tar	Leather and tannery waste
/ R-plus	Mechanical down sizing and separation	Shredder waste
S+S	Machines for mechanical down sizing and separation	Shredder waste, metals
Salyp	Mechanical separation	Shredder waste
British Lurgi / SVZ - Schwartz Pumpe	Mechanical separation and gasification	Industrial waste, MSW, SHR, sleepers, etc.
SSE	Machines for mechanical separation	Shredder waste, metals, minerals



The 11 technologies are described in more detail in the reports from visits shown in annexes B-L.

### Conclusions

At the beginning of this project in 1998, a large number of technologies and companies were presented, which apparently were able to treat the prioritised fractions of waste. Now, at the end of this investigation, almost five years later in 2003, it must be concluded that only a small handful of apparently surviving technologies and companies is interesting for Danish investors and operators of waste treatment plants.

Investments in one or more of these technologies will still have to be regarded as risky, and the proposed Danish strategy should be regarded more as an strategy of development than as a complete and clearly described way of treatment of the relevant Danish waste fractions.

### Comparison of technologies for waste treatment

#### Treatment of shredder waste

All the processes investigated for shredder waste produce free metals of the waste and utilise the energy. A number of processes produce entirely stable products that can be sold, be used as road construction or building materials - or be disposed of at an ordinary landfill.

The treatment costs vary from about DKK 470 to 1,091/t SHR for a plant with a capacity of 50,000 t SHR/year.

The process technologies for shredder waste falls in two groups:

1. Mechanical separation succeeded by a thermal process (pyrolysis, gasification, combustion, etc.)
2. Thermal process without pre-treatment

#### *Mechanical separation succeeded by a thermal process*

##### *Mechanical separation*

The methods used at H.J. Hansen and R-plus reach the same results. Both processes function well and separate so many metals from the shredder waste that the residue is suitable for thermal treatment.

If the methods are complemented with separation of plastic (i.e. Salyp) or a simple separation based on density, plastics could be produced from the coarse fraction.

The development of mechanical separation processes is very fast - both as regards sensor systems and sorting mechanisms (Salyp, SSE, S+S, LLA, etc.).

##### *Succeeding thermal processes*

CT-Environment and von Roll have, in large-scale pilot tests, shown that their technologies can process pre-treated shredder waste.

CT-Environment has shown, in full scale tests, that their melting cyclone can treat shredder waste and flue gas cleaning product from MSW incineration simultaneously. The process produces a metallic melt and glassy mineral slag, with a composition that can possibly meet the Danish limit values for slag category II. CT-Environment has not demonstrated that they themselves master the technology of mechanical pre-treatment. In the middle of 2002, the Swiss authorities chose the technology of CT-Environment for treatment of shredder waste. The parent company of CT-Environment, Babcock Borsig Power, is at the moment under liquidation. Recently, CT-Environment was reconstructed with new owners.

Von Roll masters technologies for processing of shredder waste (including grate-pyrolysis). Von Rolls slag processing oven allows control of the composition of the slag - an interesting option that is not offered by others. Von Roll offers both the grate-pyrolysis process and their melting technology at commercial conditions for processing of shredder waste.

Comparison of CT-Environment and Von Roll:

- The process of von Roll requires an extra mechanical pre-separation process, if metals of high quality have to be produced.
- The melting technology of von Rolls is able to reduce oxides of copper and iron to free metals. In the CT-Environment process, oxides of iron and copper end up in the slag.
- It is estimated that the treatment costs of a von Rolls plant is DKK 1,091/t SHR at 45,000 t/year, while CT-Environments costs are lower, approximately DKK 470/t SHR at 100,000 t/year, because CT's plant simultaneously processes an equivalent amount of flue gas cleaning product from MSW incineration.
- Both technologies are working reliably when processing other materials, but long-term experience with shredder waste has not been found.
- The plant capacity of both technologies can be tailored to the structure of the Danish waste management system. Both technologies will also be able to process other waste fractions simultaneously, as demonstrated by CT-Environment.

The SVZ, KSK and PyroArc shaft furnace process and the Kawasaki combination of pyrolysis in a duct and a shaft gasifier, can with certain constraints, process shredder waste. All shaft furnace processes require that the shredder waste is feed as briquettes that are stable at temperatures above 1,000 °C. SVZ and PyroArc claim that they have solved this problem, but actual experience has not been found. The process of Kawasaki requires additional supply of coal. The pyrolysis duct and the feeding system of the Kawasaki process have problems with shredder waste.

#### *Thermal processes without pre-treatment of shredder waste*

Ebara and Takuma are the only two documented well-functioning thermal and mechanical processes that are able to treat shredder waste. Both Ebara and Takuma have three and four years of production experience from one commercial plant, and offer the plants with guarantees all over the world.

Comparison of Ebara and Takuma:

- Both processes produce iron, copper and aluminium in mixtures from the waste, and both processes produce a mineral granulate that can probably meet the Danish limit values for slag category II. Most of the Zn and Pb end up in the flue gas-cleaning product, which has to be disposed of.
- The treatment costs of both processes are expected to be in the order of DKK 880/t SHR.
- Both technologies can, without any problems, meet the Danish requirements laid down for the working environment and for emissions.
- The Takuma plant has been in operation for four years and has processed approx. 100,000 tons shredder waste. The EBARA plant has been in operation for nearly three years and has treated more than 120,000 tonnes shredder waste.
- The processes of Ebaras and Takumas have the same energy efficiency.
- Both technologies can be adapted to the structure of the Danish waste management system. The desired plant capacity is not at problem, and both processes will be able to process other types of waste, like flue gas cleaning products, simultaneously.

PKA has developed a process, where the energy output is a combustible gas. PKA has no full-scale experience with shredder waste, but has performed pilot plant tests. The liquidation proceedings of PKA are ongoing.

The process of Mitsui is almost identical to Takumas, but Mitsui has concentrated on the processing of MSW.

#### **Processing of CCA-impregnated waste wood**

Only one commercial process for treatment of CCA-impregnated waste wood was found: a Finish recycling system for impregnated poles, sleepers, etc. However, it has not been possible to get any kind of detailed information about the technologies. The process consists of a patented combustion process succeeded by chemical processing of the ashes into a new impregnation liquid. The process cannot be immediately transferred to Denmark, and the type of chemical process is unknown.

A number of processes are developed:

- Kommunekemi A/S has performed pilot plant tests with counter-current gasification succeeded by a chemical processing of the ash, and is also developing a process based on low temperature pyrolysis.
- Watech A/S is working with separation processes that can extract the heavy metals in the ash from CCA-impregnated waste wood, PVC, shredder waste, etc.
- The development of the PyroArc process indicates that this and similar shaft gasifiers will probably be able to process CCA-impregnated waste wood together with iron-containing materials, like pre-treated shredder waste. The process will then produce a strongly bound arsenic residue and a slag, which could probably be sold.

## Treatment of leather- and tannery waste

Borge tannery, Norway, operates the only commercial plant treating leather- and tannery waste. The process is based on the shaft gasifier (Pyroarc) from the company Enviroarc, and the product is an iron-chromium alloy and a melted slag for recycling. The plant has been in operation for approximately one year. Enviroarc has successfully tested the process in pilot scale with shredder waste and impregnated waste wood.

## Danish strategies

### Strategy for treatment of shredder waste

It is expected that approximately 100,000 t SHR/year will have to be treated in Denmark in the near future. The composition of the waste will roughly be as in 1996, but with a slightly lower heating value (12 MJ/kg).

The process technologies for shredder waste can be divided into two groups:

1. Mechanical sorting followed by a thermal process (pyrolysis, gasification, combustion, etc.).
2. Thermal process without pre-treatment.

Today's technologies recover energy and materials from shredder waste in amounts that are sufficient to meet the demands laid down in the EU Directive concerning end-of-life vehicles, in 2006 as well as 2015.

The now available technologies from group 2 are: EBARA and Takuma which are first-generation processes. A possible solution from group 1 is CT-Environment in combination with mechanical sorting processes like R-plus or H.J. Hansen. However, the CT-Environment process is not yet established as a first-generation plant in operation.

In the preparation of a strategy for treatment of shredder waste in the future, the following subjects should be considered:

- Treatment of shredder waste in melting processes together with other problematic wastes (for instance residues from flue gas cleaning)
- New possibilities for sorting plastics, metals with new sensor and computer technologies
- Reduced heat value caused by recovery of plastics
- Treatment in a combined process with impregnated wood where the wood is added in the melting process in order to obtain sufficient heat value to melt the slag. (For instance in shaft gasifiers similar to Pyroarc).

Before a technology is chosen, studies should be made of:

1. The economic and environmental possibilities for further sorting and recovery of plastics.
2. The relevance of recovering heavy metals either in mechanical pre-sorting or in the following thermal process.
3. Alternative possibilities for other energy recovery than production of heat/power.

4. Possibilities for upgrading the slag from the thermal process to construction material or raw material of higher value.
5. Economic and environmental aspects of co-treatment with municipal solid waste and industrial waste.

#### **Strategy for treatment of CCA-impregnated waste wood**

The main effort in treatment of CCA- impregnated waste wood should be concentrated on solving problems with the toxic arsenic. Arsenic should be stabilized in the cheapest way where it can still be deposited without risk for the surrounding environment. One possibility is to treat the waste wood together with a smaller amount of shredder waste where free metals has been removed, or leather and - tannery waste with iron content from sludge treatment in a process which binds Arsenic in stable iron/copper compounds.

The heat value of the waste wood must be efficiently utilised to ensure the highest possible CO<sub>2</sub>-displacement.

The recovery of Copper and Chromium from CCA-impregnated waste wood must be prioritised in relation to the treatment costs associated with the recovery. To the extent that Copper and Chromium are not recycled, they should in all circumstances be stabilized in such a way that slag and other residues do not present an environmental hazard.

The details concerning the Finnish recycling system, producing new substances for impregnation of wood, are not known. Due to the lack of information on the process, transfer of the system to Denmark cannot be recommended.

In the preparation of a strategy for treatment of impregnated waste wood in the future, a combined process should be considered, in which impregnated waste wood is treated with shredder waste where free metals have been removed or with tannery waste (for instance in a shaft gasifier such as Pyroarc).

#### **Strategy for treatment of leather- and tannery waste**

The process of Enviroarc, as demonstrated at Borge Tannery, can be utilised in Denmark. The Danish potential for this type of waste is only approximately 4,700 t waste/year, which is expected to lead to rather high treatment costs approx. DKK 1,500-2,000/t waste. If other waste is added, the treatment costs can be reduced.

In the choice of strategy another possibility for treatment of leather waste should be considered in which the waste is treated together with downsized impregnated wood waste in gasification plants, fluid bed combustion plants or other plants without melting units - followed by recovery of chromium and copper from the residues.

#### **Formation of Scaling and corrosion**

The large content of chlorine, alkali and heavy metals in shredder waste in comparison with the content in normal municipal solid waste and industrial waste, presents a drastically increased risk of corrosion - or scaling problems in boilers for production of heat and power.

Only scarce experience of operation exists under the right conditions and in the one or two years required. Therefore, the above-mentioned problems cannot be quantified yet.

The report presents a number of possibilities for solving the most likely problems with break-down of fireproof lining, corrosion of evaporator heating surfaces either under the fireproof lining or in areas without fireproof lining and corrosion of evaporator tubes.

It is assessed that corrosion protection of especially evaporator heating surfaces can be obtained by welding on to the surfaces a layer of Inconel steel, which reduces the costs of maintenance and increases the service intervals, with savings that by far exceed the extra costs for the protective layers.

#### Final conclusion

At the closing of the project further operational experience with the plants in operation is still required before they can be considered as thoroughly tested and sturdy technologies.

The Ebara and Takuma processes may be characterized as first-generation plants, while the CT-environment process must be characterized as a 0. generation plant.

This means that unknown problems can be expected after longer periods of operation, but also a large potential for optimisation. Better plant design, operation and product qualities will probably lead to significantly lower treatment costs pr. treated tonne of waste.

There is still a need for following the experience of the commercial plants and the plants under planning or construction. Several interesting technologies are being developed at Enviroarc, Kommunekemi, Watech and other companies.

There is a need to draw up requirements for ideal plants, which are to treat the prioritised waste fractions.

It should be considered where Danish companies and development environments could participate in the development and test of new technologies

Many of the processes will, with few or no adaptations, be able to treat normal municipal solid waste and industrial waste.

# 1 Ajourføring af viden om behandlingsmetoder

Dette kapitel indeholder en opsummering af status for alle relevante teknologier, som vi har undersøgt i fase 2b og 3.

Den teknologiske udvikling inden for processer, der behandler tungmetalholdigt affald, sker i øjeblikket meget hurtigt. For at sikre at alle relevante teknologier blev undersøgt, har vi i begyndelsen af projektet afsøgt danske og internationale databaser, videncentre, nyhedsbreve, etc. inden for affaldssektoren for nyheder. Status for alle de teknologier, som blev undersøgt i fase 2b, har vi desuden ajourført. Status pr. 2002-02-20 var udgangspunktet for prioriteringen og udvælgelse af de virksomheder, som skulle besøges og beskrives i detaljer. Helt frem til projektets allersidste tid er nye teknologier kommet frem og andre stoppet, hvilket har medført en løbende evaluering og prioritering af alle teknologier.

Status pr. 2002-11-01 for de mange teknologier er vist i Tabel 1.





Table 1. Status pr. 2002-11-01 for alle undersøgte teknologier. **Besøgte anlæg vist med fed.**

Procesnavn	Procestype	Affald	Status og kort konklusion
Chartherm	Lavtemperaturpyrolyse	Imprægneret træaffald	Pilotanlæg bygget. Forsøgsresultater ikke offentliggjort. Chartherm er gået konkurs. Kommunekemi har bygget et forsøgsanlæg, der skal prøve at gentage Chartherms proces, der skulle give en aske, hvorfra metaller og As skulle kunne udskilles mekanisk. Se Kommunekemi.
Citron	Termisk, kemisk	Tungmetalholdigt affald	Velegnet til affald som batterier, hydroxidslam, etc. For dyr til shredderaffald. Processen er beskrevet nøjere i rapporten fra fase 2b.
CT Environment	Mekanisk neddeling, sortering og smeltecyklon	shredderaffald og røggasrensingsprodukt	<b>Velegnet til shredderaffald og røggasrensingsprodukt. Fuldskalaforståelse gennemført dog uden mekanisk oparbejdning. CT Environment er rekonstrueret med en ny ejerkreds efter Babcock Borsig-koncernens konkurs. CT-Env. har ordre på det første anlæg i Schweiz til behandling af shredderaffald.</b>
EBARA	FB pyrolyse / forgasning	Shredderaffald	Kommercielt anlæg i Japan idriftsat 2000. Modificering af kedel og introduktion af et nyt højeffektivt rensesystem er påbegyndt i 2001. Siden februar 2002 har det ikke været nødvendigt at rense den kedel, der er færdigbygget manuelt. Det ser derfor ud til, at de væsentligste problemer er løst i et anlæg, der nu kan betegnes som et 2. generations anlæg. Indtil november 2002 er behandlet 145.000 t shredder affald og 25.000 t slam med sammenlagt 17.000 driftstimer. Det meste af tiden er driften sket på en linie, mens den anden er blevet modificeret. Fra december 2002 skulle begge linier være i drift efter ombygning til det nye kedeldesign. <b>EBARA kan give kommercielle garantier. Meget relevant for det danske affaldssystem.</b>
Energos	Forbrænding	Delfraktion af SHR	I et forsøg med shredderaffald fra STENA har man forbrændt de ca. 40 % af shredderaffaldet med stykstørrelse over 10 mm. Har haft mange af de forventede problemer med processen, og har siden overvejet, hvad man skal gøre med den metalrige slagge.
EPR	Mekanisk neddeling og separering af metaller, etc.	Elektronikskrottet	Bedømmes til ikke at være relevant til behandling af SHR.
Finsk recycle system	Termisk + kemisk oparbejdning	Imprægneret træ, stolper	Ikke relevant. Processen er beskrevet nøjere i rapporten fra fase 2b.
FLS miljø A/S	Ristepyrolyse	Dæk	Patenteret termisk proces og kemisk oparbejdning af metaller i aske til ny imprægneringsmiddel. Ikke muligt at fremskaffe nogen yderligere information om processerne. Kemisk proces ikke relevant efter danske forhold, da CCA-imprægnering er forbudt i DK. Systemet kan ikke vurderes pga. manglende information.
Foster Wheeler	FB/CFB forbrænding	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap	Velfungerende proces demonstreret i fuld skala. Ikke velegnet til shredderaffald, impr. træaffald eller læderaffald.
H.J. Hansen Miljøsystem A/S	Neddeling og mekanisk separation	Shredderaffald	<b>Velfungerende fluid bed forbrændingsanlæg i bl.a. Sverige. Velegnet og relativt billig proces til udnyttelse af energien i Imprægneret affaldstræ. Da processen ikke stabiliserer restprodukterne eller udskillelse af metaller mm. fra aske kan processen ikke anbefales uden efterfølgende oparbejdningsprocesser.</b>
Kommunekemi A/S	Lavtemperaturpyrolyse	Imprægneret affaldstræ	<b>Velfungerende mekanisk anlæg med traditionelle processer i kombination med den nyeste separationsteknologi. Kan håndtere H.J.Hansens shredderaffald. Termisk proces til restfraktion under overvejelse. Meget relevant.</b>
Kommunekemi A/S	Modstrømsforgasning	Imprægneret affaldstræ	Pilotanlæg opbygget. Forsøg ultimo 2002. Relevant proces med mulighed for let udskillelse af Cu, Cr og As.
KSK	Skaktovnsforgasser	Shredderaffald	Pilotforsøg gennemført med succes. Lab.skalaforståelse med kemisk oparbejdning af aske succesfulde. Fuldskalaanlæg planlagt. Relevant proces. Kan vise sig at være en relevant proces for behandling af mekanisk sorteret shredderaffald. Har dog indtil videre ingen erfaring med højere indsats af shredderaffald end ca. 15% pga. problemer med brikettering af shredderaffaldet. Andre lignende skaktovnsprocesser er blevet besøgt (se Pyroarc/Borge og SVZ).

Procesnavn	Procestype	Affald	Status og kort konklusion
LLA Instruments GmbH	Plastseparation (NIR)	Plastkomponenter biler	Anlæg findes i Zwickau, Tyskland (LLA samarbejde med DaimlerChrysler, Ford, BMW) til separation af manuelt adskilt plast fra biler. Plaster neddeles til 30 mm, PUR-skum og partikler fjernes med vindsigting. Plast separeres i plasttyper efter polymertype med NIR identifikation og separation med luftdyser. Relevant ved fjernelse af større plastdele fra biler.
Lurgi Envirotherm GmbH	CFB-forgasning	Affaldstræ, creosotimpr. træ	Fuldskalalanlæg i Holland med store driftsproblemer med en gaskøler, der er for lille og ikke kan håndtere tjære og stov. Det er besluttet at re-designe store dele af gasrensningssystemet. Ikke afprøvet med CCA-imp. Ikke velegnet i det nye design.
Mannesmann Demag	-	-	Mannesmann Demag er i 1999 opsplittet i to selskaber: Mannesmann Demag Kraus-Marffel AG og SMS Demag AG. Ingen af disse selskaber beskæftiger sig med bortskaffelse / nyttiggørelse af affald.
Mitsui, Yame Seibu Clean Centre	Siemens KWU proces. Pyrolyse i roterovn.	MSW	<b>Det besøgte anlæg behandlede kun MSW, men Mitsui har i pilotanlæg kørt forsøg med shredderaffald, og det vurderes at være sandsynligt, at Mitsui vil tilbyde anlæg til shredderaffald.</b>
MVF	Skaktovnsforgasser	Shredderaffald	MVF er gået konkurs. Procesudvikling stoppet. Ikke relevant.
NEXUS	Pyrolyseproces i kammer	Shredderaffald	Nexus er gået konkurs. Procesudvikling stoppet. Ikke relevant.
NOMI (DK)	Mekanisk sortering	Industriaffald	Benytter kun magnetisk separation af jern-metaller og massefyldeseperation til separation af ikke-jern metaller (rystebord). Ikke designet til shredderaffald, men de indgående separationsteknologier (massefyldeseperation) er relevante til behandling af shredderaffald (se R-plus).
Organic Power ASA	Tværstrøms/medstrøms-forgasning	Sorteret industriaffald	Meget billig termisk proces. Processen er ikke velegnet til tungmetaltholdigt affald pga. ujævne procesbetingelser. Organic Power er erklæret konkurs. Ikke relevant.
PKA	Pyrolyse i roterovn	Industriaffald og AI-affald	Muligvis relevant til shredderaffald. Det er sandsynligt, at processen kræver et energitilskud i form af kul eller koks for at have energi nok til at smelte shredderaffaldets mineralske del. PKA er under konkursbehandling.
Procone	Speciel medstrømsforgasser	Rent affaldstræ	Industrielt anlæg i drift. Vurderes til at kunne behandle imprægneret affaldstræ - er dog ikke afprøvet. Ikke erfaringer med metaludvinding. Fuldskalalanlæg i Siebelehn oversvømmet og elektronisk ødelagt. Der arbejdes på reetablering. Mindre pilotanlæg haves og anlæg til forgasning af slam er under test i pilotskala
PyroArc	Skaktovnsforgasser med plasma-krakning af tjære	Læder- og garverifald	Industrielt anlæg hos Borge Garveri er under indkøring. Producerer Cr-legering og mineralisk fraktion. Anlægget har kapacitet som hele den tilsvarende danske affaldsstrøm. Meget relevant til dansk læder- og garverifald og imprægneret affaldstræ. Drift med gasmotor indkoblet forløber tilfredsstillende senest ved en uges test i uge 44/2002. Endvidere er gennemført pilotforsøg med imprægneret affaldstræ og shredderaffald.
Result Technologies	Mekanisk neddeling og sortering	Elektronikkrot	Velfungerende proces til elektronikkrot. For dyr til shredderaffald.
R-plus	Mekanisk neddelings og sortering	shredderaffald	Videreudvikling af LSD/ARGE AltAuto proces. Benytter traditionelle metoder (forskellige fra de nye teknikker, som markedsføres af S+S el. SSE). Velfungerende proces. Driftsklar - men stoppet pga. lave deponiomkostninger. Meget relevant for Danmark.
S+S	Maskine til mekanisk separation	Shredderaffald, metaller	Velfungerende fleksible maskiner til mekanisk separation af metaller. Har leveret mere end 140 metalseparationsanlæg til meget forskellige affaldsstrømme. Meget relevante til udsortering af metaller fra shredderaffald.
Salyp	Mekanisk separation	Shredderaffald	Demonstrationsanlæg med plastseparation. Delprocesser til genvinding af skumplast og termoplast. Restfrak-

Procesnavn	Procestype	Affald	Status og kort konklusion
Schwartz Pumpe SVZ	Mekanisk separation og smeltefugasning	Industriaffald, MSW, SHR, jernbanesveller mv.	Fuldskalaanlæg, der sorterer industriaffald, plast og MSW til fremstilling af brændelsespiller til SVZ's forgasserer. Fremstilling af brændelsespiller af SHR er problematisk. SVZ's nye smelteforgasser er mulig proces til behandling af sorteret, briketteret shredderaffald. Indtil videre kun erfaring med tilførsel af op til 15% shredderaffald af den indfyrede affaldsmængde.
Seiler Hochtemperatur-Trennanlagen AG	Mekanisk separation og Smelteproces	Shredderaffald	Procesudvikling stoppet pga. konkurs.
SSE	Maskine til mekanisk separation	Shredderaffald, metaller, mineraler	Velfungerende fleksible maskiner til mekanisk separation. Afprøvet og idriftsat i fuldskala hos på shredderaffald. Meget relevante til udsortering af alle typer frie metaller, mineraler etc. fra shredderaffald.
STENA	Mekanisk s. separation med efterfølgende eddy current	Shredderaffald	Målsætningen har været at opdele shredderaffaldet i to fraktioner: 1) Et brændsel med meget lavt indhold af mineraler og metaller og høj brændværdi. 2) En deponerbar fraktion med forholdsvis lavt metalindhold. Så vidt vi er orienterede har STENA nu ændret målsætning og påtænker, at udvikle en termisk proces, der gør den smeltede slagge genanvendelig.
Takuma	Siemens KWU proces. Pyrolyse i roterovn.	Shredderaffald	Fuldskalanlæg i drift i Japan siden april 1998. Anlægget var allerede i 2000 i drift 6700 timer ud af de planlagte 7300 årlige driftstimer. Takumas teknologi er yderst relevant til behandling af dansk shredderaffald. Det har ikke været muligt at få oplysninger om driftsforhold som korrosion mm.
Thermoselect S.A. / Kawasaki Steel	Komprimering og højtemperaturpyrolyse/forgasning	Industriaffald	Anlæg i Japan har været i kommerciel drift siden 2000. Shredderaffald har været forsøgt behandlet, men kræver ekstra indsats af kul for at have tilstrækkelig energi til smeltning af shredderaffaldets mineraliske del.
TPS	-	-	TPS har ingen teknologi til behandling af shredderaffald eller affaldstræ.
Von Roll AG	Pyrolyse på rist + smelteprocesses	Shredderaffald	Fuldskalaforbrug gennemført med succes. von Roll har ikke leveret kommercielle anlæg. Von Roll teknologien i sin nuværende udførelse er en kompliceret teknologi, som kræver videre udvikling, inden den kan anbefales til danske forhold. Von Roll har dog vist, at de behersker de(n) nødvendige teknologi(er) til oparbejdning af sorteret shredderaffald. Processerne tilbydes kommercielt.



## 2 Undersøgelse af teknologier

Afsnit 2.1 omtaler kort de 11 besøgte anlæg, mens de udførlige rapporter fra besøgene på fuldskalaanlæg er i appendiks B til L.

Processerne er blevet vurderet på deres:

- Effektivitet i forhold til genanvendelse af metaller og andre stoffer
- Økonomi
- Miljøbelastning
- Arbejdsmiljø
- Driftssikkerhed
- Energiudnyttelse / -forbrug
- Mulighed for tilpasning til den danske affaldsstruktur

### 2.1 fuldskala-anlæg besøgt i fase 3

#### 2.1.1 Shredderaffald

- H.J. Hansen Miljøsystem
- Organic Power
- R-plus
- S+S - Search and Separate
- Salyp
- SVZ - Schwartze Pumpe
- SSE - Separation Systems Engineering GmbH

#### 2.1.2 Imprægneret affaldstræ (CCA, CCP, CKB, etc.)

- Högdalenverket (Birka Energi)
- Igelstaverket (Söderenergi)
- Organic Power ASA
- Procone
- SVZ - Schwartze Pumpe

#### 2.1.3 Læder- og garveriaffald

- Borge Garveri (PyroArc)

### 2.2 Oversigt over alle besøgte anlæg (fase 2b + 3)

I Tabel 2 er en alfabetisk ordnet liste med alle de anlæg, som projektets deltagere har besøgt i fase 2b og 3. Flere af de virksomheder, der er nævnt i Tabel 1, er blevet besøgt i forbindelse med andre projekter fx Kommunekemi, NO-MI, Result Technology.

Tabel 2. Oversigt over alle anlæg som er besøgt i projektet.

Procesnavn	Procestype	Affald	Besøgt i fase
CT Environment	Mekanisk neddeling, sortering og smeltecyclon	shredderaffald og røggasrensningsprodukt	2b
EBARA	FB pyrolyse / forgasning	Shredderaffald	2b
H.J. Hansen Miljøsystem A/S	Neddeling og mekanisk separation	Shredderaffald	3
Högdalenverket (Foster Wheeler)	CFB forbrænding	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap	3
Igelstaverket (Foster Wheeler)	FB forbrænding	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap	3
Mitsui, Yame Seibu Clean Centre	Siemens KWU proces. Pyrolyse i roterovn.	MSW	2b
Organic Power ASA	Tværstrøms/medstrømsforgasning	Sorteret industriaffald	3
PKA	Pyrolyse i roterovn	Industriaffald og Affald	2b
Procone	Speciel medstrømsforgasser	Rent affaldstræ	3
PyroArc	Skaktovnsforgasser med plasma-krakning af tjære	Læder- og garveriaffald	3
R-plus	Mekanisk neddeling og sortering	Shredderaffald	3
S+S	Maskine til mekanisk separation	Shredderaffald, metaller	3
Salyp	Mekanisk separation	Shredderaffald	3
Schwartz Pumpe	Mekanisk separation og forgasning	Industriaffald, MSW. SHR, jernbanesveller mv.	3
SSE	Maskine til mekanisk separation	Shredderaffald, metaller, mineraler	3
Takuma	Siemens KWU proces. Pyrolyse i roterovn.	Shredderaffald	2b
Thermoselect S.A. / Kawasaki Steel	Komprimering og højtemperaturpyrolyse/forgasning	Industriaffald	2b
Von Roll AG	Pyrolyse på rist + smelteproces	Shredderaffald	2b

## 3 Sammenligning af behandlings- teknologier

I afsnit 2 omtales kort de anlæg, som projektet har besøgt i denne fase 3 af projektet, mens udførlige rapporter fra besøgene på 11 fuldskaalanlæg findes i appendiks B - L.

I de følgende afsnit vil de bedste teknologier blive vurderet og sammenlignet i forhold til disse kriterier:

- Effektivitet i forhold til genanvendelse af metaller og andre stoffer
- Økonomi
- Miljøbelastning
- Arbejdsmiljø
- Driftssikkerhed
- Energiudnyttelse / -forbrug
- Mulighed for tilpasning til den danske affaldsstruktur

Da stort set alle de kendte processer er udviklet med henblik på at behandle shredderaffald, vil hovedvægten i bedømmelsen tage udgangspunkt i denne affaldstype og deres muligheder for at behandle andre affaldstyper.

Processer til behandling af imprægneret affaldstræ og læder- og garveriaffald sammenlignes sidst i afsnittene 3.2 og 3.3.

### 3.1 Behandlingsteknologier egnede til shredderaffald

Tabel 3 viser de bedste teknologier til behandling af shredderaffald og deres udviklingsstade. Processerne er karakteriseret ud fra deres krav til forbehandling, procestemperatur og mulighed for slaggeraffinering.

Tabel 3. teknologier til behandling af shredderaffald og deres udviklingsstade

Shredderaffald		Proces						Status		
Proces	Nr.	Fobehandling	Forsortering krævet for udvinding af rene metaller	Pyrolyse/lavtemperaturfor-gasning med metalseparation	Slaggsmeltning	Slaggeraffinering <sup>1)</sup>	Afprøvet i pilotforsøg	Designet specifikt til SHR	I drift med SHR	I drift med andre brændsler end shredderaffald
PKA	1	<sup>2)</sup>		X	X		X			Ind./MSW
Takuma	2	<sup>2)</sup>		X	X		X	X	X	
Mitsui	3	<sup>2)</sup>		X	X		X			MSW
Ebara	4	<sup>2)</sup>		X	X		X	X	X	MSW
Kawasaki Steel	5		X		X		X			Ind./MSW
Von Roll RCP	6		X		X	X	X			MSW
CT-Environment	7	X	X		X		X	X		SHR + RRP
SVZ	8	X	X		X		X			Blanding
Pyroarc	9	X	X		X	X	X			L

1) Behandling i reducerende atmosfære sammen med koks

2) Grovneddeling < 300 mm

MSW: Kommunalt affald

Ind. Industriaffald

L: Læder- og garveriaffald

SHR + RRP Shredderaffald + røggasrensningsprodukt fra affaldsforbrænding



Tabel 4 angiver, hvilke produkter og restprodukter processerne er i stand til at producere. De enkelte processer vurderes også på deres evne til at producere kraftvarme og dioxindannelse.

Tabel 4. Produkter og restprodukter fra processer til behandling af shredderaffald

Processer til shredderaffald	Nr.	Udvinding af Jern (rent metal)	Udvinding af kobbermetal (rent metal)	Udvinding af aluminium, magnesium etc	Udvinding af Zn/Pb af røggas	Producerer separat affappelig metal og slaggesmelte	Udvinding af plast mulig	Produceret kraft+varme 2)	Produktion af rensset gas	Vurderet dioxinindhold i røggasrensingsprodukter 1)
PKA	1	X	X	X	++++			+++	+	++
Takuma	2	X	X	X	++			++++		+++
Mitsui	3	X	X	X	++			++++		+++
Ebara	4	X	X	X	++			++++		+++
Kawasaki Steel	5	X	X	X	++++	X	X	+++	+	+
Von Roll RCP	6	X	X	X	++++	X	X	++++		+++
CT-environment	7	X	X	X	++++		X	++++		+++
SVZ	8	X	X	X	++++		X	++++	+	++
Pyroarc	9	X	X	X	++++	X	X	++++	+	++

	Kræver tilføjelse af forbehandlingstrin (øget investering)
	Kræver modificering af eksisterende forbehandlingstrin (øget investering)
+	Meget lav
++	Lav
+++	Middel
++++	Høj
1)	Anlæg med forbrænding af produceret gas fulgt af røggasrensning vil have større tendens til dioxinproduktion i restprodukter end anlæg, hvor gassen renses inden brug.
2)	++++ svarer til 65-75 % total virkningsgrad ved behandling af shredderaffald, hvilket er en lavere virkningsgrad end ved fx forbrænding af husholdningsaffald. Dette skyldes blandt andet, at der indgår en smelteproces ved 1300-1500°C med deraf følgende større varmetab.

Behandlingsteknologierne, der er egnede for behandling af shredderaffald kan opdeles i følgende kategorier:

- Behandlingsmetoder, der er kombinationer af en indledende mekanisk sortering og en efterfølgende termisk behandling. Se afsnit 3.1.1.1 og 3.1.1.2.
- Behandlingsmetoder, der er egnede til behandling af shredderaffald uden forbehandling. Se afsnit 3.1.2.

Der vil i det følgende blive lavet en sammenligning mellem de tilgængelige teknologier inden for disse kategorier. For en mere detaljeret beskrivelse af de omtalte processer henvises til logbøgerne.

### 3.1.1 Mekanisk sortering og efterfølgende termisk behandling

#### 3.1.1.1 Mekanisk sortering

H. J. Hansen

R+

Evt. kombineret med plastseparation.

Metoderne, som praktiseres hos H. J Hansen og hos R+, opnår stort set de samme resultater. Suppleres metoderne med plastseparation (fx Salyp) eller en simpel vægtfyldeseparering for genvinding af plast, vil der af den grove fraktion i begge processer kunne genvindes plast.

Begge mekaniske sorteringsprocesser er økonomisk fordelagtige, de har begge høj driftssikkerhed, danske miljøkrav og krav til arbejdsmiljø vil kunne indfris uden problemer, og teknologierne lader sig indpasse i den danske affaldsstruktur.

Begge processer er i stand til med et moderat energiforbrug at genvinde næsten alle ubundne metaller af shredderaffaldet, men de oxiderede metaller genvindes ikke ad denne vej.

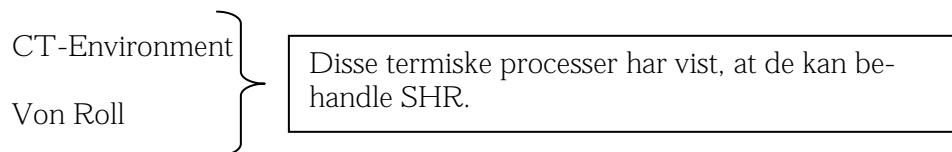
Kombinationen med Salyp eller en anden simplere proces, der kan genvinde plast (ikke beskrevet i denne undersøgelse) kan være økonomisk fordelagtig i den udstrækning, der kan findes aftagere af den genvundne plast.

Konklusionen af denne sammenligning er, at der findes processer til mekanisk sortering, der fungerer så godt og fjerner så mange metaller fra shredderaffaldet, at dette er egnet til termisk behandling i en af de nævnte processer i afsnit 3.1.1.2.

De nævnte teknologier er kommercielt tilgængelige.

Der forgår en meget hurtig udvikling inden for mekanisk sortering baseret på identifikation af metal eller plastemner med sensor-systemer og sorteringsmekanismer med luftdyser (fx ved SSE, S+S, LLA instruments og en række andre virksomheder). Der udvikles løbende udstyr, som kan separere stadig mindre partikler og således konkurrere med traditionelle separationsmetoder som fx massefyldeseparation.

### 3.1.1.2 Efterfølgende termiske processer



**CT-Environment** har i et større pilotforsøg vist, at den anbefalede teknologi er en mulighed for termisk behandling af shredderaffald med samtidig nyttiggørelse af røggasrensingsprodukt fra affaldsforbrændingsanlæg. Teknologien er medio 2002 valgt af Schweiz, som den teknologi man her vil bruge til oparbejdning shredderaffald. CT-Environment tilbyder såvel forbehandling af shredderaffaldet som den termiske behandling. CT-Environment har dog ikke været i stand til over for os at demonstrere, at de behersker en teknologi til forbehandling af shredderaffaldet med genvinding af metallerne. Det vil derfor være fornuftigt at kombinere den termiske del af processen med en mekanisk sortering, som den praktiseres hos H. J. Hansen eller måske R+. Den valgte teknologi til sortering skal dog suppleres med en ekstra neddelingsproces, idet den termiske proces kræver findelt materiale med en partikelstørrelse helst ikke over 4 mm.

Den termiske proces, smeltecyklonen, er en robust og driftssikker smeltreaktor, der er i kommerciel drift til en lang række forskellige materialer. Bl.a. har den været anvendt til oparbejdning af zink fra støv fra røggasrensning i elektrostålværker.

Det første kommercielle anlæg til behandling af shredderaffald forventes sat i drift i Schweiz i 2005.

Moderselskabet til CT-Environment, Babcock Borsig Power er i skrivende stund under konkursbehandling. CT-Environment er netop blevet rekonstrueret med en ny ejerstab.

**Von Roll** har i et længere forsøg i et demonstrationsanlæg i Bremerhaven oprindeligt bygget til behandling af husholdningsaffald vist, at de behersker teknologier til termisk behandling af shredderaffald. Von Roll teknologiens slaggebehandlingsovn giver en helt speciel mulighed for at kontrollere og styre slaggesammensætningen, en mulighed som ikke er set praktiseret af andre, og som er en interessant option. Det besøgte anlæg var oprindeligt bygget til behandling af husholdningsaffald, og da von Roll senere har indset, at konceptet er for dyrt til behandling af husholdningsaffald, er anlægget senere ombygget.

Von Rolls tilbyder både ristepyrolyseprocessen og deres smelteteknologi på kommercielle vilkår til behandling af shredderaffald.

Sammenligning CT-Environment og Von Roll:

- **Effektivitet i forhold til genanvendelse af metaller og andre stoffer.**  
Genanvendelsen af metaller er først og fremmest afhængig af den mekaniske sortering, men da Von Roll teknologien i kraft af ovnen til slaggebehandling kan køres som en stærk reducerende proces, vil også oxider af kobber og jern udfældes i en metalfase, som kan genvindes. Disse oxider vil i CT-Environment teknologien indgå i slaggen.
- **Økonomi**  
Se herom senere (afsnit 3.1.3).
- **Miljøbelastning**  
Begge teknologier kan uden problemer tilpasses de danske krav til arbejdsmiljø og miljø.
- **Driftssikkerhed**  
Smeltecyklonen i CT-Environments teknologi er i andre sammenhænge en i driftssikker enhed. Von Roll teknologien i den undersøgte form er kompliceret, og vi formoder derfor ret sårbar. Der er dog ingen grund til at tro, at selve pyrolyseenheden og smelteovnen skulle være mere sårbare end andre tilsvarende anlæg.
- **Energiudnyttelse/forbrug**  
I princippet er teknologierne sammenlignelige, men da CT-Environment baserer sin teknologi på at smelte andre affaldstyper uden brændværdi, vil energiproduktionen være lavere, idet en del af energien bruges hertil.
- **Mulighed for tilpasning til den danske affaldsstruktur**  
Begge teknologier vil kapacitetsmæssigt kunne tilpasses den danske affaldsstruktur og vil kunne behandle andre affaldstyper samtidigt, hvilket

CT-Environment har demonstreret. Von Roll har praktiseret oparbejdning af husholdningsaffald gennem længere tid på anlægget.

SVZ

Kawasaki

KSK

Enviroarc

Disse termiske processer kan med begrænsninger behandle SHR.

De nævnte teknologier er alle baseret på skaktovnsprocesser. Dog er Kawasaki en kombination af pyrolyse i en kanal og skaktovnsprincippet. Processerne udmærker sig ved at kunne køres stærkt reducerende og dermed omsætte metaloxiderne i shredderaffaldet til en metalfase, hvilket vil medføre et mindre metalindhold i slaggen i forhold til mindre reducerende processer.

Processerne udmærker sig alle desuden ved, at det termiske output er en brændbar gas, der kan anvendes til drift af forbrændingsmotorer eller som procesgas i industrien.

Begrænsningerne i behandling af shredderaffald ligger for SVZ, KSK og Enviroarcs vedkommende i, at skaktovne kræver tilførsel af briketter, der er stabile ved temperaturer over 1000 °C. Shredderaffald er svært at brikettere, hvorfor tilførslen af dette affald er begrænset til ca. 15% af den indfyrede affaldsmængde. Dog har SVZ med ekstruderet shredderaffald forsøgt sig med større andel af shredderaffald, men ekstruderingen er dyr. SVZ oplyser, at deres omkostninger til ekstrudering er 600 DKK/t. Enviroarc hævder dog at være i stand til at indføde 100% shredderaffald i briketteret form og åbenbart til væsentlig lavere omkostninger. (Jvf. de økonomiske sammenligninger 3.1.3).

Kawasaki har kørt forsøg med shredderaffald. Dette krævede tilførsel af supplerende kul. Desuden gav pyrolysekanalen og indfødningsystemet visse problemer.

### 3.1.2 Behandlingsmetoder til af shredderaffald uden forbehandling

EBARA

Takuma

Disse termiske processer har vist, at de kan behandle SHR. Processerne er dog også i stand til at behandle MSW og således genvinde metallerne i dette affald.

PKA

Mitsui

Disse termiske processer kan muligvis behandle SHR, men har vist, at de kan behandle MSW med genvinding af metaller

De fire er nævnte processer er alle opbygget med en pyrolyse- eller forgasningsdel, et system til metalseparation og en smelteovn.

Takuma og Mitsui er i princippet den samme proces, idet idegrundlaget for begge er en licens fra Siemens-KWUprocessen. Takuma har videreudviklet denne proces for shredderaffald, og Mitsui har primært koncentreret sig om husholdningsaffald.

PKA har udviklet en proces, hvor det termiske output er en brændbar gas. PKA har dog ikke i det besøgte anlæg forsøgt sig med shredderaffald, men har dog gennemført forsøg på et pilotanlæg. PKA er pt. under konkursbehandling.

EBARA-processen adskiller sig fra de andre processer i det første termiske trin, som er en lavtemperatur fluid bed-forgasser, medens de tre andre processer betjener sig af roterovne til pyrolyseprocessen.

Fluid bed-forgasseren i EBARA-processen har flere gode egenskaber sammenlignet med roterovne. Disse er følgende:

- Robust proces med høj kapacitet pr. volumenenhed.
- God proceskontrol for temperatur og tryk.
- Pyrolysetemperaturen er let at styre gennem f.eks. mængden af tilført luft eller recirkuleret produktgas. Pyrolysetemperaturen kan desuden styres ved at ændre slam-andelen i det tilførte brændsel.
- Forgasseren har ingen bevægelige dele og i sammenligning med roterovne ingen væsentlige tætningsproblemer i forbindelse med indfødning og udtagning, som ville kunne give mulighed for udsivning af gas.
- Det ekstra behandlingstrin til adskillelse af koks og metaller som ved anvendelse af roterovne undgås.
- Partikler > 0,3 mm udskilles sammen med metaller gennem bundasken, hvorved metaller ned til 0,3 mm i princippet kan genvindes. Det kan dog typisk ikke betale sig at separere metaller under 2..5 mm, hvorfor denne fraktion sendes retur til forgasseren for til sidst at ende i smelteprocessen.

Sammenligning EBARA og Takuma:

- **Effektivitet i forhold til genanvendelse af metaller og andre stoffer.**  
Genanvendelsesgraden af metaller og andre stoffer må anses for at være nogenlunde ens for de to processer. Takuma har dog udviklet et system til at fraseparere sammenfiltrede kobberledningsnet fra biler, som herefter kan afsættes som en nogenlunde ren fraktion af kobber. Genvinding af kobbertråde fra ledninger vil i Ebara-processen kræve oparbejdning af den restfraktion, som opstår af keramik og metal >2.. 5mm, hvorfra jern og større stykker aluminium og kobber er fjernet. Denne oparbejdning udføres delvist af shredderoperatøren. Takuma-processen producerer også en fraktion af ikke-jernmetaller, som skal oparbejdes andetsteds for at separere indholdet af mindre stumper kobber, aluminium etc. Endvidere mistes metaller under soldstørrelsen (7 mm) i Takuma-processen, da denne nedmales og sendes over i smelteprocessen på samme vis som i Ebara-processen.
- **Økonomi.**  
Se herom senere (afsnit 3.1.3).
- **Miljøbelastning.**  
Begge teknologier kan uden problemer tilpasses de danske krav til arbejdsmiljø og miljø.
- **Driftssikkerhed.**  
Takuma har været i drift i ca. 4 år og har behandlet ca. 100.000 tons shredderaffald. EBARA har været i drift i snart 3 år og har behandlet over 120.000 tons shredderaffald. Disse anlæg er klart de to anlæg i hele ver-

den, der har vist længst stabil drift.

- **Energiudnyttelse/forbrug.**  
I princippet er teknologierne sammenlignelige og energiudnyttelsen afviger ikke for de to processer.
- **Mulighed for tilpasning til den danske affaldsstruktur.**  
Begge teknologier vil kunne tilpasses den danske affaldsstruktur. Kapacitetsmæssigt vil dette ikke give problemer, idet begge processer er fleksible i deres opbygning, ligesom begge processer vil kunne behandle andre affaldstyper samtidigt.

For alle de her nævnte termiske processer er hovedproduktet ud over energi-produktion i form af varme eller syntesegas en glasagtig slagge, der i alle økonomiske beregninger er ansat til en meget lav værdi, idet vi har antaget, at den kan afsættes til vejbygningsmateriale, opfyldning eller lignende.

Det er dog sandsynligt, at slaggen ved en mindre, supplerende metallurgisk behandling vil kunne omdannes til et mere værdifuldt materiale med andre anvendelsesmuligheder. Eksempelvis kan det nævnes, at Sverige i flere århundreder har benyttet slaggen fra højovne til fremstilling af mursten. Sådanne og lignende overvejelser bør gøres inden endelig valg af teknologi.

I denne forbindelse kan der være fordele ved at benytte processer, der kan køres reducerende, idet man her har større muligheder for dirigere metallerne derhen, hvor det vil være formålstjenlig at have dem. (Jvf. Tabel 5).

Tabel 5. Termiske processer opdelt efter oxidationsgraden i smelteprocessen

Procestype	Stærkt reducerende	Svagt reducerende	Neutralt	Svagt oxiderende
Betydning	$\text{FeO} \Rightarrow \text{Fe} + \text{O}$ $\text{CuO} \Rightarrow \text{Cu} + \text{O}$ $\text{PbO} \Rightarrow \text{Pb} + \text{O}$ $\text{ZnO} \Rightarrow \text{Zn} + \text{O}$	$\text{PbO} \Rightarrow \text{Pb} + \text{O}$ $\text{ZnO} \Rightarrow \text{Zn} + \text{O}$	-----	$\text{PbO} \Leftarrow \text{Pb} + \text{O}$ $\text{ZnO} \Leftarrow \text{Zn} + \text{O}$
Processer	SVZ Kawasaki KSK Pyroarc PKA Von Roll	CT-Environm. Von Roll		Von Roll <sup>1)</sup> EBARA Takuma Mitsui

1) Von Roll uden HSR-slaggebehandlingsanlæg. Se logbog fra besøget, fase 2b).

### 3.1.3 Omkostninger for teknologier til behandling af shredderaffald

I dette afsnit sammenlignes økonomien i de syv bedste processer.

De fælles forudsætninger for de økonomiske beregninger er:

Investering i bygninger, grunde, etc.	Inkl. kapitalomk. til bygn.
Forsikringer etc.	medregnes ikke
Afskrivning af fabriksanlæg	7% p.a., 15 år
Afskrivning af maskiner (sorteringsudst.)	7% p.a., 7 år
Gennemsnitlig løn	300.000 DKK/år

El-køb	390 DKK/MWh
El-salg	350 DKK/MWh
Varmesalg	150 DKK/MWh
Deponiomkostninger for farligt affald <sup>1)</sup>	675 DKK/t
Deponiomkostninger for ask og slagge <sup>1)</sup>	0 DKK/t
Salg af kobber (Cu) <sup>2)</sup>	7.000 DKK/t
Salg af aluminium (Al)	4.000 DKK/t
Salg af metalblanding fx Cu/Al	2.000 DKK/t
Salg af jern (Fe)	500 DKK/t
Brændværdi af shredderaffald <sup>3)</sup>	13,3 GJ/t

1) Inklusiv statsafgift, eksklusiv moms.

2) Pris for legeringer proportional med Cu-koncentrationen.

3) Ca. 10% vand, ca. 48% aske.

Sekundære udgifter til fx brændsel, O<sub>2</sub> og andre hjælpestoffer, som er specifikke for de enkelte teknologier, er vist i besøgsrapporter fra de pågældende virksomheder/processer.

Priser ved køb og salg af el og salg af varme er fastlagt som gennemsnittet for danske affaldsforbrændingsanlæg.

Omkostninger til deponering er ansat ud fra oplysninger fra et bredt udsnit af private og kommunale priser.

Priser ved salg af metallerne Cu, Al og Fe er fastsat ud fra praktisk opnåelige verdensmarkedspriser for skrot-metaller.

Bemandingen på alle anlæg er skønnet den samme - nemlig 25 mand svarende til 5 mand per skift ved femholdsskift uanset om kapaciteten er 27.000 eller 100.000 t/år, idet den nødvendige bemanning ikke forventes at variere væsentligt med mindre ændringer i kapaciteten af anlæggene. Den nødvendige bemanning vil være afhængig af de lokale forhold herunder eventuel udnyttelse af eksisterende personale, som betjener andet udstyr.

Det skal bemærkes, at der regnes med en forrentning over 15 år. En forrentning over fx 8 år vil således forøge kapitaludgiften og dermed behandlingsomkostningerne for et anlæg med en investering på 300 mio. DKK med ca. 350 DKK/t.

Der regnes endvidere ikke med et eventuelt overskud til anlægsoperatøren.

For alle anlæg regnes med de driftsudgifter, som er opgivet af leverandørerne i logbøgerne. Driftsudgifterne er dog opgivet med forskellig bemanning, hvorfor der her er korrigeret til den samme bemanning på 25 personer.

I logbøgerne har de enkelte leverandører opgivet forskellige indtægter for salg af metaller og kraft/varme, da en del af økonomiberegningerne omfatter udenlandsk affald eller affald af anden type. Det er derfor her forsøgt at skønne realistiske virkningsgrader og salgspriser for de genvundne metaller for at gøre en sammenligning mulig. Skønnene er forbundet med en vis usikkerhed.

Tabel 6. Sammenligning af økonomien for de bedste behandlingsteknologier.

Anlæg	SHR Kapacitet	Kapitalomkostning	Driftsudgifter totalt	Indtægt metal/andre produkter	Indtægt el + varme	Behandlingsomkostning <sup>2</sup>
	t/år	DKK/t SHR				
Ebara <sup>1</sup>	50.000	905	565	80	509	881
Takuma/Mitsui <sup>1</sup>	27.000	871	588	80	509	870
von Roll <sup>1</sup>	45.000	873	727	0	509	1.091
CT-Environment <sup>1</sup>	100.000	478	581	80	509	470
Thermoselect	50.000	543	408	0	394	587
SVZ	100.000					975
Pyroarc <sup>1</sup>	50.000	538	387		441	484

<sup>1</sup> Kapitalomkostninger er inkl. bygninger.

<sup>2</sup> De beregnede behandlingsomkostninger er baseret på en række forudsætninger, som medfører en vis usikkerhed og må betragtes som vejledende.

Omkostningerne i

Tabel 6 er opgivet som uforpligtende oplysninger af leverandørerne.

Forudsætningerne for de enkelte anlæg er

### Ebara

Fra logbogen fra besøget hos Ebara benyttes følgende data om energiproduktion: Dampdata: 400 °C, 38 bar, netto el-produktion: 14%, netto total virkningsgrad: 74%. Total virkningsgraden er sat konservativt til 70%. Der er regnet med genvinding af 2% jernmetal fra shredderaffaldet og 3,5% kobber/aluminium med salgspris 2 DKK/t.

### Takuma/Mitsui



Ud fra oplysninger i logbøgerne og leverandøroplysninger vurderer vi, at et anlæg kan leveres med nogenlunde samme dampdata som Ebaras og dermed nogenlunde samme netto el-virkningsgrad (14%) og nogenlunde samme totale virkningsgrad (70%).

Der er regnet med genvinding af 2% jernmetal fra shredderaffaldet og 3,5% kobber/aluminium med salgspris 2 DKK/t.

### **Von Roll**

Det forudsættes, at kapaciteten på smelteenheden, som indgår i von Rolls RCP proces, øges med 50%, så den svarer til kapaciteten af den foranliggende proces.

Ud fra logbogen og leverandøroplysninger vurderer vi, at et anlæg kan leveres med nogenlunde samme dampdata som Ebaras og dermed nogenlunde samme netto el-virkningsgrad (14%) og samme totale virkningsgrad (70%).

Den producerede jernkobberlegering antages at kunne afsættes til 0 DKK/t inkl. transport.

### **CT-Environment**

Økonomiberegningerne er baseret på et anlæg med den dobbelte kapacitet af Ebaras svarende til 100.000 t shredderaffald/år. Vi vurderer, at et anlæg kan leveres med nogenlunde samme dampdata som Ebaras og dermed nogenlunde samme netto el-virkningsgrad (14%) og samme totale virkningsgrad (70%). Anlægget er designet til samtidigt at kunne behandle 90.000 t røggasrensingsprodukt/år. Der er regnet med genvinding af 2% jernmetal fra shredderaffaldet og 3,5% kobber/aluminium med salgspris 2 DKK/t, hvilket forudsætter etablering af en forbehandlingsproces, som er i stand til at udskille de frie metaller.

### **Thermoselect**

Kapitalomkostninger og driftsomkostninger er behæftet med en del usikkerhed.

Ud fra data i logbogen og leverandøroplysninger vurderer vi, at et anlæg kan leveres med nogenlunde med nogenlunde samme netto el-virkningsgrad som Ebaras (14%). Til gengæld forventes en lavere total energieffektivitet på ca. 50%, idet der i Thermoselect-processen indgår bratkøling af den 1200° C varme gas til under 80°C, så der ikke kan produceres så store mængder fjernvarme. I princippet vil varmen dog kunne udnyttes til andre "lavtemperatur" formål fx garverier og industrier med stort forbrug af varmt vand.

Den producerede jernkobberlegering antages at kunne afsættes til 0 DKK/t inkl. transport.

### **SVZ**

SVZ opgiver en "gatefee" ved behandling hos SVZ. De økonomiske forhold hos SVZ er meget sammensatte. Det er dog tvivlsomt om denne "gatefee" afspejler de reelle behandlingsomkostninger.

### **Pyroarc**

Behandlingsomkostningerne er baseret på et estimat for behandling af shredderaffald med fugtindhold mindre end 10%. Beregningen omfatter et komplet

turn-key-anlæg inklusive anlæg til fremstilling af briketter. Der forventes en netto el-virkningsgrad for Pyroarc-processen på ca. 5% hvilket er lavere end for de anlæg, som ikke er skaktovnsbaserede. Anlæggets el-produktion er relativt lav, fordi fremstillingen af brændelsespiller og selve plasmageneratoren bruger megen energi. Den totale virkningsgrad forventes at kunne nå nogenlunde samme niveau som de ikke skaktovnsbaserede anlæg (65-75%), hvorfor den totale virkningsgrad er sat til 70%.

Hvis man antager, at Pyroarc processen kombineres med en mekanisk forbehandling af shredderaffaldet med fraseparering af større stykker metaller (over ca. 6 mm) inden restaffaldet tilføres Pyroarc processen, vil den mekaniske behandling medføre en merudgift i de samlede kapitaludgifter og driftsomkostninger. Vi vurderer, at indtægterne fra salg af metaller fra den mekaniske proces overstiger udgifterne, så de samlede behandlingsomkostninger for en mekanisk proces kombineret med Pyroarc-processen eller lignende skaktovne ikke øges.

### Diskussion

Kapitalomkostningerne og dermed investeringen per ton varierer fra 478 DKK/t til 905 DKK/t for de viste anlæg. En del af de viste anlæg har en kapacitet på ca. 50.000 t/år, men for nogle anlæg er kapaciteten to gange større eller 2 gange mindre, hvorfor man skal være forsigtig med sammenligninger, da kapitalomkostningerne vil variere på forskellig vis med kapaciteten. Kapitalomkostningerne er den største udgiftspost for anlæggene og har derfor afgørende betydning for behandlingsprisen.

Det ses, at behandlingsomkostningerne inkl. bygninger ligger fra ca. 470 til 1.091 DKK/t.

Herfra skal trækkes sparede deponeringsudgifter i størrelsesordenen 675 DKK/t inkl. affaldsafgift. Nogle af processerne ser således ud til at kunne opnå et lille overskud, hvis der benyttes en afskrivningsperiode på 15 år.

Det ses, at salg af kraft/varme udgør den største indtægt. Energien kan alternativt benyttes til smeltning af røggasrensprodukt, såfremt processerne er designet til dette. CT-Environment tilbyder en proces med samtidig smeltning af røggasrensningsprodukter, og vi forventer, at en del andre processer til en vis grad også vil kunne gøre dette. Således recirkulerer fx Ebara, Takuma og Enviroarc deres egne røggasrensningsprodukter i processerne, hvorved en del af røggasrensningsprodukterne smeltes til en slagge. Det skal dog bemærkes, at Ebaras og Takumas anlæg er udlagt til at producere varme af al energien i affaldet, hvilket medfører dyrere kedelanlæg, end hvis man vælger at udnytte energien til smeltning af røggasrensningsaffald og kun producerer damp af den lille rest overskudsvarme.

Indtægter fra salg af metaller kan variere meget afhængigt af om det lykkes at udvinde rene metaller, blandinger eller legeringer.

### 3.2 Behandlingsteknologier til CCA-imprægneret affaldstræ

Imprægnering af træ med Cr, Cu og As benyttes stort set kun i de nordiske lande og i USA, hvilket betyder, at potentialet for virksomheder, der udvikler affaldsbehandlingsteknologi, er begrænset. Vores undersøgelse af internationale teknologier, der genvinder metallerne af imprægneret affaldstræ, har da også vist, at der stort set kun foregår udviklingsarbejder i Danmark, Norge, Sverige og Finland.

Der findes ingen fuldskala teknologier, der behandler CCA-imprægneret affaldstræ med oparbejdning af metallerne. Der eksisterer dog et system til genanvendelse af CCA-imprægnerede stolper, sveller, mm. i Finland; men det har ikke været muligt at få tilstrækkelig detaljeret information om de forskellige termiske og kemiske processer til, at vi har kunnet vurdere, om systemet er egnet til danske forhold. Det finske system oparbejder Cu, Cr og As i affaldstræet til nyt imprægneringsmiddel.

Kommunekemi har gennemført vellykkede forsøg i pilotskala med modstrømsforgasning af imprægneret affaldstræ og optimeret en kemisk proces til oparbejdning af asken fra forgasseren. Kommunekemi planlægger at bygge et behandlingsanlæg, men de forventede behandlingsomkostninger er ikke kendte. En kemisk oparbejdning af asken forventes dog at være en forholdsvis dyr proces, hvor mængden af aske og eventuelle rester af jord og anden forurening af træet kan øge behandlingsomkostningerne betragteligt.

Kommunekemi har desuden opbygget et pilotanlæg til pyrolyse af forskellige affaldstyper og planlægger at afprøve Chartherms koncept med lavtemperaturpyrolyse af imprægneret affaldstræ (se Tabel 1). Målet er at bringe Cr, Cu og As på en form, der gør det muligt at adskille de metalholdige partikler fra kokspartikler med mekaniske separationsprocesser. KK planlægger at gennemføre forsøgene tidligt i 2003.

Enviroarc har for afprøvet deres skaktovns-proces (Pyroarc) med imprægneret affaldstræ i pilot-skala. Ved behandling af CCA-imprægneret træ forventer Enviroarc, at hovedparten arsen-indholdet i træet findes i procesgassen, hvorfra det kan udsepareres i et slamprodukt via en renseproces. Ved tilbageføring af slammet til forgasseren og tilsætning af jernholdigt materiale bør der ifølge Enviroarc kunne produceres en jern-arsen-holdig smelte, hvor arsen er hårdt bundet. Kobber og krom vil fordele sig på forskellig vis mellem den smeltede slagge og metalsmelter. Der er ikke fremlagt tilstrækkelige forsøgsdata til at kunne dokumentere fremgangsmåden nærmere.

Udover evt. udvundne metalfraktioner vil mineraler og oxiderede metaller findes i en tæt glasagtig slagge, som sandsynligvis vil kunne overholde kravene til genanvendelse i den danske restproduktbekendtgørelse for kategori III og muligvis også kategori II. Dette bør dog undersøges nærmere.

Processen er ikke afprøvet i fuld skala, men leverandøren har udført et overslag på behandlingsomkostningerne for trykimprægneret affaldstræ er 400-500 DKK/t for et anlæg med en kapacitet på 50.000 t/år (se logbogen for Pyroarc-anlægget ved Borge garveri). Andre skaktovnsprocesser fra fx KSK og British Lurgi (SVZ) forventer vi i grove træk vil kunne gennemføre nogenlunde samme behandling af imprægneret træ som Pyroarc-processen. Med de foreliggende oplysninger er der mulighed for at skaktovnsprocesserne kan udvikles til en forholdsvis billig total løsning, men formentlig ikke med så høj

en genanvendelsesgrad af metaller som ved en kemisk oparbejdning af restprodukterne.

Også danske virksomheder er begyndt at udvikle processer, der kan ekstrahere tungmetallerne fra aske og koks fra imprægneret affaldstræ. Watech A/S arbejder med separationsprocesser, der kan fjerne tungmetaller i aske fra CCA-imprægneret træ, PVC, shredderaffald, mm. Teknologien er meget lovende og relativt billig og er demonstreret i industriel skala med PVC.

Hvis udgangspunktet for vurderingen af processerne er, at energien i affaldstræet skal udnyttes bedst muligt, mens metallerne i aske/slagge/restprodukter skal oparbejdes i en efterfølgende proces, findes flere termiske processer fra pyrolyse, over forgasning til forbrænding. Fælles for alle processerne er, at As vil ende i alle udgående strømme: Støv, røggasrensningsprodukt, tjære, aske/slagge, metallegeringer, etc. Det vil derfor være nødvendigt, at alle de termiske processer efterfølges af flere rensningsprocesser, der kan fjerne og fiksere As til deponering.

Foster Wheelers boblende eller cirkulerende fluid bed forbrændings- eller forgasningsprocesser vil sandsynligvis også være velegnede til imprægneret affaldstræ. De to svenske værker på hver 90 MW (Iglestaverket og Högdalenverket) brænder nedrivningsaffald uden problemer. Begge processer vil skulle efterfølges af restproduktoprensings- og slaggestabiliseringsprocesser.

### 3.3 Behandlingsteknologier til læder- og garveriaffald

Der er kun fundet og besøgt en proces, som behandler læderaffald (Pyroarc).

Pyroarc-processen er udviklet til decentral placering ved et garveri og løser som sådan alle garveriets affaldsproblemer, idet alle affaldsstrømme kan behandles, uden at der forekommer affald, som må deponeres. I bilag B findes en nøjere beskrivelse af Pyroarc-processen.

Processen er opbygget omkring en skaktovn, som producerer en jern-krom metallegering og en smeltet slagge til genanvendelse.

Processen er forholdsvis dyr i den lille kapacitet på 5.000 t/år læderaffald på tørstof basis, som haves fra garveriet men formodentlig ikke væsentligt mere end tilsvarende løsninger, hvor der produceres en smeltet slagge og en metallegering, der uden yderligere oparbejdning kan afsættes til genanvendelse.

Andre skaktovnsprocesser eller reducerende smelteprocesser forventes at ville kunne være en mulig løsning til behandling af læderaffald uden restprodukter til deponi fx:

- KSK
- Thermostelect
- SVZ
- Von Roll

## 4 Forslag til danske strategier

### 4.1 Strategi for shredderaffald

Strategien for oparbejdning af shredderaffald i Danmark bør tage udgangspunkt i følgende:

1. EU-direktivet om udrangerede køretøjer og dets indflydelse på mængde og sammensætning af affaldet.
2. Den fremtidige sammensætning af shredderaffaldet.
3. De fremtidige mængder af shredderaffald.

Desuden bør strategien være afpasset i overensstemmelse med den bedste tilgængelige teknologi på området.

EU-direktivet om udrangerede køretøjer forlanger, at der i 2006 nyttiggøres min. 85% af de udrangerede køretøjers vægt inkl. max. 5% energigenvinding. I 2015 er disse krav ændret til min. 95% nyttiggørelse inkl. max. 10% energigenvinding.

Da samtidig bilernes sammensætning, som det fremgår af Tabel 7, har ændret sig væsentlig gennem de seneste 30 år, står man over for væsentlige udfordringer.

Tabel 7. Udviklingen i sammensætningen af biler.

Bilers sammensætning <sup>1)</sup>	1980		1990		2000	
	%	kg	%	kg	%	kg
Stålskrot	69	702	65,5	661	58	574
NE-metal	4,5	45	5,2	45	6,0	59
Gummi	5,2	53	5,0	51	5,0	50
Plast	4,5	45	9,0	91	16,0	158
Glas	3,9	40	4,0	40	4,0	40
Andet	12,8	130	11,3	114	11,0	109
Total		1.015		1.010		990
Heraf ikke metal	26	268	29	296	36	357

1. Ref. 5: Technologien und Wirtschaftlichkeit von Recycling und Entsorgung von Altfahrzeugen. Alexander Stückeli, maj 2000.

En markant ændring har været indholdet af plast, der har været konstant stigende fra ca. 4,5% i 1980 til 16% i år 2000, primært på bekostning af jern og metal. Plastindholdet forventes at stagnere omkring de 16% i de kommende år. Samtidig og især gennem 1990'erne har miljøbehandling af biler før shreddering i Danmark medført, at flere og flere dele afmonteres. Det drejer sig om batterier, dæk og væsker. Fremover skal også glas og visse plastmaterialer enten afmonteres før shreddering eller, hvis dette er muligt, genvindes som glas og plast efter shreddering.

Forudsætter man, at alt glas afmonteres, hvilket i realiteten jo kun vil ske i ikke havarede biler, fjernes 40 kg glas fra hver bil. Hvis også 30 kg plast i form af diverse kofangere fjernes før shreddning vil disse tiltag under danske forhold, hvor biler udgør ca. 25% af formaterialet til shredderen, pr. 1000 kg shredderaffald medføre en reduktion på 8 kg glas og 7,5 kg plast. Denne ændring anses for at have minimal betydning for sammensætning og brændværdi for shredderaffaldet, og dermed for valg af fremtidig oparbejdningsmetode for shredderaffald.

Den største betydning for shredderaffaldets fremtidige sammensætning vil være valget mellem en mekanisk forbehandling inden termisk oparbejdning eller ingen yderligere forbehandling.

I efterfølgende Tabel 8 angiver kolonne 3 en sandsynlig sammensætning af shredderaffald, der ikke har gennemgået en yderligere raffinering og kolonne 4 angiver en sandsynlig sammensætning af shredderaffald, der har gennemgået en økonomisk overkommelig raffinering. (Resultatet er fremkommet som et kvalificeret gæt på grundlag af de erfaringer, vi har samlet under vore observationer og især fra én lang række analyser gennemført på shredderaffaldet hos STENA).

Raffineringen kan evt. bestå af følgende trin:

1. Neddeling.
2. Sigtning.
3. Vægtfyldeseperation og/eller separation af metaller ved computer scanning og afblæsning af metaller. Jvf. de beskrevne metoder fra R+ og H.J. Hansen.

Tabel 8. Sammensætning af shredderaffald i Danmark.

Analyse	DK 1996	DK 2002 => Uden raffinering	DK 2002 => Raffineret *****)
Fe	13,2 %	12% *)	4% *)
Al	2,5%	2,2% **)	1,2% **)
Zn	1,9%	1,9%	1,5%
Cu	1,2%	2% ***)	1,4% ***)
Pb	0,35%	0,3%	0,3%
Ni	0,04%	0,04%	0,04%
Sn	0,01%	0,01%	0,01%
Cr	0,04%	0,04%	0,04%
Cd	0,004%	0,004%	0,004%
Metal	19,2%	18,5% ****)	8,5% ****)
Cl	2,0%	2,5%	2,5%
Vand	Ca. 10%	Ca. 10%	Ca. 10%
Aske i alt	48,6%	Ca. 48%	Ca. 38%
Brændværdi	13,9 MJ/kg	Ca. 12 MJ/kg	Ca. 13 MJ/kg

\*) Ca. 3% foreligger som oxider.

\*\*\*) Ca. 1% foreligger som oxider.

\*\*\*\*) Ca. 1% foreligger som oxider.

\*\*\*\*\*) Ca. 5% foreligger som oxider.

\*\*\*\*\*) Med den nuværende teknologi. Sammensætningen vil ændre sig med udviklingen af nye teknologier.

Mængdemæssigt reduceres den samlede mængde shredderaffald naturligvis med de metaller, glas og plast, der fjernes fra affaldet. Reduktionen vil altså være knap 12% i forhold til den mængde, der ville være tale om, hvis shredderaffaldet ikke blev behandlet. Der vil således i den nærmeste fremtid være behov for at behandle op mod 100.000 tons shredderaffald pr. år i Danmark.

Grundstoffer som bly, zink og klor, som er problematiske for den efterfølgende termiske behandling, fjernes imidlertid ikke ved denne mekaniske oparbejdning. Disse stoffer vil også fremover - endda i relativt forøgede mængder - være tilstede i shredderaffaldet.

Der eksisterer i dag teknologier, som kan genvinde energien og nyttiggøre shredderaffaldet i en sådan grad, at EU-direktivet om udrangerede køretøjer kan opfyldes såvel i 2006 som i 2015.

De umiddelbart tilgængelige teknologier er EBARA, Takuma og sandsynligvis også CT-Environment i kombination med R+ eller H. J. Hansen. Om disse teknologier kan siges, at EBARA og Takuma endnu er første generations processer med de problemer, dette naturligt medfører. CT-Environment er endnu ikke nået til første generation.

Det bør dog nævnes, at også teknologierne udviklet af von Roll, Thermoselect, PKA og skaktovne som SVZ, Pyroarc eller sammenlignelige processer ved videreudvikling og i kombination med mekaniske sorteringsprocesser er interessante.

Ved fastlæggelse af strategien for fremtidig behandling af shredderaffald bør følgende spørgsmål overvejes:

- Medsmeltning af problematisk affald for udnyttelse af brændværdien i shredderaffaldet.
- Med moderne computerteknologi er der store muligheder for yderligere udvikling af scanningsteknologien, hvilket kan medføre udsortering og genvinding af stoffer, som ikke i dag kan genvindes.
- Hvis dette eller andre tiltag muliggør en væsentlig øgning i plastgenvindingen, kan dette på sigt medføre et så stort fald i brændværdi for shredderaffaldet, at energiindholdet bliver for lavt til at smelte slaggen uden tilsats af anden energi.
- Eventuel medforbrænding / smeltning af trykimprægneret træ for at opnå tilstrækkelig brændværdi til smeltning af slaggen. Dette bør da ske i reducerende proces, der bedst sikrer en genanvendelig slagge og størst mulig metalfase.
- Med de nyeste udmeldinger, som netop er modtaget fra Enviroarc, bør mulighederne i Pyroarc-processen studeres nærmere, såvel hvad angår behandling af shredderaffald som måske en kombineret proces, hvor shredderaffald og trykimprægneret træ behandles samtidig.

Før der vælges teknologi, råder vi derfor til, at der gennemføres studier af:

6. De økonomiske og miljømæssige muligheder for yderligere udsortering og genvinding af plast efter en mekanisk forsortering.
7. Undersøge relevansen af genvinding af tungmetaller enten i den mekaniske forsortering eller i en efterfølgende termisk proces.
8. Vurdere om el- og varmeproduktion fra den termiske proces er den optimale energiudnyttelse af shredderaffaldets brændværdi.
9. Studere mulighederne for opgradering af slaggen fra den termiske proces til højværdigt konstruktionsmateriale eller råmateriale.
10. Gennemføre kalkuler, der belyser de miljømæssige og økonomiske aspekter ved medforbrænding af husholdnings- og industriaffald, som også indeholder mange metaller eller evt. imprægneret træ for binding af arsen i en metalfase. Flere processer tilbydes til behandling af husholdnings- og industriaffald og er etableret med dette formål i bl.a. Japan.

Disse studier vil kunne finde frem til en til en definition af ideal anlægget til behandling af shredderaffald.

Under alle omstændigheder er de senest tilkomne informationer fra Enviroarc så interessante, at disse bør undersøges nærmere.

## 4.2 Strategi for imprægneret træaffald

### 4.2.1 Økonomiske betragtninger

Hovedproblemet med CCA-imprægneret affaldstræ er det meget giftige arsen (As). Foruden As indeholder træet de to tungmetaller kobber (Cu) og krom (Cr), der har en vis handelsværdi som frie metaller. Endelig har spildtræ en meget stor brændværdi.

Potentialet for den danske produktion af imprægneret affaldstræ har vi i projektets første fase skønnet til ca. 18.500 t i 1997 og ca. 90.000 t i 2020 svarende til ca. 10 t Cu + 22 t Cr i 1997 og ca. 70 t Cu + 140 t Cr i 2020 (se Ref. 1).

Salgsprisen af tungmetallerne og den frigjorte energi ved forbrænding i det imprægnerede affaldstræ udgør den samlede værdi af affaldet.

Idet vi benytter de samme salgspriser for Cu og Cr som for Cu i de økonomiske beregninger i afsnit 3.1.3 (4.000 DKK/t), bliver salgsværdien for metallerne i 1997 128.000 DKK og 840.000 DKK i 2020.

Til sammenligning udgør den skønnede samlede brændværdi i 1997 0,283 PJ/år og forventes at blive 1,37 PJ/år i 2020. Set i forhold til det samlede forbrug af skovflis på alle danske varme- og kraftvarmeverker i 2001 på 3,53 PJ, repræsenterer potentialet i CCA-imprægneret affaldstræ altså ikke mindre end ca. 10%.



Med en termisk virkningsgrad på 85% og en salgspris på 150 DKK/MWh, vil denne varme kunne indbringe ca. 10 mio. DKK i 1997 og ca. 49 mio. DKK i 2020. Hvis behandlingsanlæggene producerer elektricitet, vil den samlede energi-salgspris være ca. 5-10% højere.

Brændværdien udgør altså mere end 98% af affaldstræets værdi.

Kobber "tabes" mange steder i det danske "Cu-kredsløb" fx i slagge fra affaldsforbrændingsanlæg og i skrot, der genbruges til stålproduktion.

I Danmark forbrændes ca. 3 mio. t affald/år i affaldsforbrændingsanlæg. Hvis man antager et gennemsnitligt askeindhold på ca. 20% med en Cu-koncentration på ca. 0,5%, betyder det, at der årligt deponeres ca. 3.000 t Cu i affalds-slagge fra danske affaldsforbrændingsanlæg.

Den danske "produktion" af jernskrot er på ca. 1 mio. t/år. Hvis vi antager et gennemsnitligt Cu-indhold på 0,25%, svarer det til, at ca. 2.500 t Cu/år forsvinder fra "Cu-kredsløbet".

Disse to restprodukter står altså for et samlet årligt Cu-tab på mindst 5.500 t.

Cu-mængden i imprægneret affaldstræ udgør altså ca. 0,2% (1997) af det samlede "tab" af Cu i disse tre affaldsstrømme (slagge fra affaldsforbrænding, jernskrot og imprægneret affaldstræ).

#### *4.2.1.1 Konklusion*

Hovedindsatsen i behandlingen af CCA-imprægneret affaldstræ bør derfor koncentreres om løsningen af problemerne med det meget giftige As, der skal stabiliseres / bindes, så det på den billigste måde kan deponeres uden risiko for miljøet. En mulighed er at behandle affaldstræet sammen med en mindre mængde shredderaffald eller læder- og garveriaffald i en proces, der binder As i stabile jern- eller kobberforbindelser.

Brændværdien i affaldstræet skal udnyttes effektivt for at sikre en så stor CO<sub>2</sub>-fortrængning som muligt.

Genvindingen af Cu og Cr fra CCA-imprægneret affaldstræ må prioriteres i forhold til de behandlingsomkostninger, som er forbundet med oparbejdningen. I det omfang Cu og Cr ikke genvindes bør de under alle omstændigheder stabiliseres, så aske, slagge og andre restprodukter kan deponeres uden risiko for miljøet.

Vi forventer, at det er væsentligt mere økonomisk fordelagtigt at udvinde en del af rest kobberindholdet fra affaldsslagge og skrot end at genvinde kobber fra imprægneret træ. En sådan udvinding kan fx foregå med mekanisk separationsudstyr baseret på sensorbaserede metalseparatorer (fx S+S, SSE).

#### **4.2.2 Strategi med genvinding af metaller**

Ud over det "lukkede" finske system, som oparbejder metallerne i CCA-imprægnerede stolper til nyt imprægneringsmiddel, har vi ikke kunnet finde erfaringer fra fuldskala-anlæg, der genvinder metaller og energi fra imprægneret affaldstræ.

Kommunekemi og Teknologisk Institut har i pilotanlæg vist, at en modstrømsforgasser kan forgasse imprægneret affaldstræ. Der findes kun erfaringer i laboratorie-skala med en kemisk oparbejdning af metallerne. Nye lovende og billige processer er under udvikling hos Watech A/S.

Pilot-forsøg med Pyroarc-processen og oplysninger fra Enviroarc viser en interessant mulighed for at udnytte processen til effektivt at binde arsen til jern. Enviroarc forventer, at Pyroarc-processen herudover vil kunne producere en lagringsstabil slagge med indhold af mineraler og oxiderede metaller samt en metal-legering, som eventuel vil kunne afsættes. Processen er ikke afprøvet i fuld skala. Da Pyroarc-processen også kan behandle læder- og garveriaffald og sandsynligvis også shredderaffald, bør denne proces følges nøje.

Genvindingen af energien i træet er meget vigtig, da den udgør over 98% af affaldets værdi. Da salgsværdien af metallerne er relativ lille, skal den efterfølgende oparbejdningsproces være så billig som overhovedet mulig. I modsætning til metallerne Cu og Cr har As negativ værdi og bør derfor bringes på en form, så omkostningerne til deponering bliver mindst muligt.

Set i forhold Cu- og Cr-indholdet i tre danske affaldsstrømme (slagge fra affaldsforbrænding, jernskrot og imprægneret affaldstræ) udgør disse metaller en meget lille andel (ca. 0,2%).

#### 4.2.3 Strategi uden genvinding af metaller

Energien i det imprægnerede affaldstræ kan nyttiggøres i mange af de undersøgte termiske processer, men man vil kunne opnå endnu større fordele, hvis affaldstræet behandles sammen med en mindre mængde jern- eller kobberholdigt affald som oparbejdet shredderaffald eller læder- og garveriaffald. (Med oparbejdet shredderaffald menes shredderaffald, hvor alle større stykker metal (over 3-5 mm) er fjernet med mekaniske separationsmetoder; men hvor affaldet stadig indeholder oxider og mindre stykker af metallerne). Under de rette termiske forhold danner As meget stabile kemiske forbindelser med både jern og kobber.

Ebaras og Takumas processer vil ikke være velegnede, da As-forbindelser vil kunne forurene overfladen af de frie metaller. De efterfølgende smelteprocesser sker ikke under reducerende forhold og vil derfor ikke kunne danne de frie metaller, der er nødvendige for at binde As.

Vi vurderer, at de reducerende termiske processer hos SVZ, Pyroarc, KSK, Kawasaki og PKA sandsynligvis alle vil kunne behandle en blanding af 15% oparbejdet shredderaffald og 85% imprægneret affaldstræ. Jern- og kobberindholdet i affaldet vil kunne udnyttes til at binde arsen i meget stabile jern- eller kobber-forbindelser. Da energien i træet og de reducerende forhold vil kunne udreducere flere frie metaller, end der er nødvendigt for at binde As, forventes processerne desuden at producere Cu/Cr/Fe-legeringer, der muligvis vil kunne afsættes. En del af metallerne vil afhængigt af driftsbetingelserne kunne findes i oxideret form i et slaggeproduktet. Afhængigt af mængden af tilsat svovl vil processerne desuden kunne produceres sulfidsmelter af krom og kobber.

### 4.3 Strategi for læder- og garveriaffald

Mængden af læderaffald i Danmark udgør ca. 4.300 t i produkter og 400 t fra garveriindustri og forarbejdning (estimat fra projektets fase 1). Indholdet af Cr er anslået til 92 t, hvilket er i samme størrelsesorden som det forventede indhold i trykimprægneret træ år 2020 (125 t Cr) fra 80.000 t trykimprægneret træ.

Der er flere muligheder for at behandle læderaffald med udvinding af metaller.

#### 1. Behandling i separat anlæg

Behandlingen kan ske i et Pyroarc-anlæg eller et andet skaktovnsanlæg, som separerer i slagge og metalsmelte. Ved behandling sammen med en tilstrækkelig mængde jernholdigt affald fx jernoxidaffald eller jernpartikler samt koks, træflis eller andet reduktionsmiddel vil anlægget kunne producere en jernkromlegering, som kan afsættes til stålværker. Behandling af kun den danske affaldsfraktion af læder forventes at medføre en forholdsvis høj behandlingsomkostning på ca. 1.500-2.000 DKK/t affald. Hvis der tilsættes andet affald sammen med læderaffaldet, som ikke ødelægger jernkromlegeringens egenskaber, vil der kunne bygges et anlæg med større kapacitet og lavere driftsomkostninger. Hvis der tilsættes andet affald, skal specielt kobberindholdet være meget begrænset for ikke at ødelægge den producerede metallegerings kvalitet.

#### 2. Behandling af læderaffald sammen med neddelt imprægneret træ, som forgasses eller forbrændes i fluid bed anlæg og efterfølgende oparbejdes med udvinding af krom og kobber.

Da læderaffaldet udgør en mindre mængde end den forventede mængde imprægneret affaldstræ, vil læderaffaldet efter neddeling med fordel kunne blandes med nedfliset imprægneret affaldstræ og forgasses/forbrændes. Læderaffaldet forventes pga. det høje indhold af krom at øge kromkoncentrationen i slaggen/flyveasken. Hvis den termiske proces er efterfulgt af en kemisk baseret proces til genvinding af krom og kobber fra slagge og /eller flyveaske, formoder vi, at den højere kromkoncentration i slagge/flyveaske fra læderaffaldet vil forbedre behandlingsøkonomien. Under de rette forhold vil svovl, der findes i høje koncentrationer i garveriaffald, kunne binde As samtidig med, at Cu og Cr samles i en sulfidsmelte.

# 5 Belægningsdannelser i kedler og varmevekslere

## 5.1 Indledning

I projektet er der evalueret en række processer til behandling af tungmetalholdigt affald. Baseret på kendskabet til sammensætningen af disse affaldstyper vurderer vi, at der er en høj sandsynlighed for, at der i sådanne anlæg kan opstå betydelige problemer med belægningsdannelse og med korrosion i he-deflader.

Enkelte koncepter er afprøvet i fuld skala gennem en kort årrække, dog typisk med relativt lave dampdata, og fra disse anlæg er det forsøgt at indhente relevante drifts- og vedligeholdelsesdata. Opgaven er derfor, at vurdere problemernes karakter, størrelse samt mulige metoder til at håndtere disse problemer på basis af teoretiske overvejelser og de få praktiske erfaringer.

## 5.2 Teoretiske overvejelser af problemernes natur

Idet der kun findes få erfaringer med den relevante type anlæg, er det nærliggende at betragte problemstillingen ud fra de forhold som kendes fra andre affaldsfyrede anlæg og efterfølgende ekstrapolere på basis af afvigelserne til de aktuelle koncepter. Sidstnævnte indbefatter primært de afvigende karakteristika af brændslerne og sekundært afvigelser i ovn- og kedeldesign.

Det er velkendt fra traditionelle affaldsfyrede anlæg med dampproduktion, at der ofte opstår betydelige problemer med korrosion og belægningsdannelse, som kræver store vedligeholdelsesomkostninger og fører til forringet rådighed af anlæggene. I det følgende gives en beskrivelse af mekanismerne i disse problemer for traditionelle affaldsfyrede anlæg.

### 5.2.1 Korrosionsmekanismer

Undersøgelser udført på danske affaldsforbrændingsanlæg suppleret med litteraturoplysninger viser, at de væsentligst problemområder er nedbrydning af den ildfaste foring, korrosion af panelvæggene bag den ildfaste foring, korrosion af ubeskyttede panelvægge efter afslutning af den ildfaste foring, korrosion af overhedere, belægningsdannelse på panelvægge i kedlens strålingstræk samt belægningsdannelse på kedlens overhedere.

Nedbrydning af den ildfaste foring kan føre til følgende problemtyper:

- Hvis foringen forsvinder, øges varmeoverførslen og røggasttemperaturen sænkes – dette kan vanskeliggøre overholdelse af miljøkrav – opretholdelse af en røggasttemperatur på mindst 1100 °C i 2 sekunder efter den sidste sekundærluftinddysning

- Hvis foringen slipper kontakt med panelvæggen, reduceres varmeoverførslen og røggastemperaturen stiger – dette kan føre til øgede korrosions- og belægningsproblemer i de efterfølgende områder af kedel og overhedere
- Hvis foringen forsvinder øges korrosionen på de blotlagte kedelrør
- Salte kan gennemtrænge den ildfaste foring og føre til korrosion på de bagvedliggende kedelrør

Korrosion af kedelrør bag den ildfaste foring, ubeskyttede kedelrør efter afslutning af den ildfaste foring og overhedere har gentagne gange ført til rørsprængninger, uplanlagt udetid og store omkostninger til udskiftninger.

Nedbrydningen af ildfaste foringer udgøres ofte af en kombination af forskellige mekanismer, og i mange tilfælde er det vanskeligt at afgøre, hvilke mekanismer har været de primære årsager til skaderne. Væsentlige mekanismer i nedbrydningen af ildfaste foringer indbefatter:

- reaktion med slaggesmelte
- infiltration med slaggesmelte og nedrivning
- oxidation
- indtrængning af gasser
- kondensering af gasformige salte og medfølgende ekspansion
- reaktion mellem indtrængende gasser og foringskomponenter
- opløsning af foringens bindfase af gaskomponenter
- spændinger via ekspansion af faser og forskelle i termisk ekspansion mellem panelvæg og foring
- korrosion af stifter og beslag samt korrosion af panelvæg.

Korrosion af panelvægge bag ildfast foring har vist sig oftest at udgøres af saltsmeltekorrosion, hvor de primære korrosive smelter typisk udgøres af alkali- og tungmetalklorider, overvejende K-Zn-klorider.

Samme korrosionsform forekommer typisk på ubeskyttede panelvægge i området umiddelbart efter afslutningen af den ildfaste foring og områder af ubeskyttet panelvæg, hvor strømningsforholdene betinger en høj stoftransport til kedelvæggen.

Korrosion af overhedere er ofte præget af gasfase klorkorrosion og i mange tilfælde i kombination med smeltekorrosion, f.eks. af smelter i systemet KCl-FeCl<sub>2</sub>.

Ud over disse mekanismer kan forekomme korrosion forårsaget eller fremmet af lokalt reducerende forhold ved kedelvæggene. Lokalt forekommer også erosion i områder med uhensigtsmæssige strømningsforhold. Mekanismerne i ovennævnte korrosionsformer er kort fortalt som nedenstående.

#### 5.2.1.1 Cl-gas korrosion

Gasfase alkalimetall- og tungmetalklorider såsom KCl, NaCl, ZnCl<sub>2</sub> og PbCl<sub>2</sub> kondenserer på røroverfladerne og reagerer her med røggassens SO<sub>2</sub> i dannelsen af Cl-gas i høje koncentrationer ved røroverfladen. Denne sulfateringsreaktion kan illustreres ved KCl:  $2\text{KCl} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cl}_2$ . Denne Cl-gas reagerer med stålet efter:  $\text{Fe} + \text{Cl}_2 = \text{FeCl}_2$ . Dette jernklorid er flygtigt ved korrosionsfronten og føres som gas udad til oxidlaget, hvor det oxideres:  $3\text{FeCl}_2 + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{Cl}_2$ . Den herved frigivne Cl-gas kan så atter reagere med stålet. Mekanismen kræver, at der kondenseres en af ovennævnte metalklorider på rørene og at disse kan reagere med SO<sub>2</sub> fra røggassen. Korrosionen

vil formodentlig øges ved større Cl/S-forhold i brændslet, højere røggastemperatur og højere overfladetemperatur. Et lavere Cl/S-forhold ville betyde, at sulfateringsreaktionen i højere grad foregår i røggassen, hvor frigivelse af Cl-gas er forholdsvis uskadelig. Denne type korrosion kan forekomme både på panelvægge og overhedere.

#### 5.2.1.2 Smeltekorrosion

Ved kondensation af ovennævnte metalklorider på ståloverfladen/oxidlaget kan der dannes forbindelser med smeltepunkter under de aktuelle overfladetemperaturer. Både vores egne få analyser og litteraturdata tyder på, at det især er blanding af  $ZnCl_2$  og  $KCl$ , der giver problematiske smelter, men  $NaCl$  og  $PbCl_2$  kan også bidrage. Blanding af  $ZnCl_2$  og  $KCl$  kan have smeltepunkter ned til  $230^\circ C$  afhængig af  $K/Zn$ -forholdet. Ved tilstedeværelse af sådanne smelter opløses stålet og/eller oxidlaget og det opløste jern genudfældes formodentlig som jernoxid uden over smelten. Mekanismen kræver at forskellige metalklorider kondenserer på røroverfladen. I de fleste tilfælde vil det formodentlig være, at både  $ZnCl_2$  og  $KCl$  kondenserer og at  $ZnCl_2$  udgør mindst halvdelen af metalkloriderne. Metaloverfladetemperaturen er af stor betydning, idet den bestemmer om kloriderne er smeltede. Denne type korrosion forekommer primært på panelvægge i området efter afslutning af ildfaste foringer.

#### 5.2.1.3 Reducerende forhold/ $CO$ -korrosion

Lokalt lave iltkoncentrationer og høje  $CO$ -koncentrationer ved kedelvæggene kan fremme korrosion på forskellige måder, f.eks. ved at reducere stabiliteten af beskyttende jernoxider, fremme sulfiddannelse, øge stabilitet af metalklorider og sænke smeltepunktet af belægninger. Denne korrosionsform kan specielt optræde ved dårlige forbrændingsforhold og dårlige opblandingsforhold i røggassen.

### 5.2.2 Belægningsdannelse

Mekanismer i belægningsdannelse har ikke været genstand for tilsvarende detaljerede undersøgelser som for korrosionens vedkommende. Undersøgelser af belægninger fra affaldsfyrede anlæg viser, at der i ovnområdet sker en påbagning af smelteslagge på de ildfaste foringer og tykkelsen af smelteslaggen vil være afhængig af underlagets karakter og af slaggens viskositet og dermed af dets sammensætning. Gennem de tomme træk sker der en stigende kondensation af salte på hedepladerne. Typisk vil initiallagene i belægningerne bestå af næsten rene salte af alkali- og tungmetalklorider og -sulfater og disse salte optræder desuden også i de øvrige dele af belægningerne. Længere omme i de tomme træk og i overhederområdet observeres en tiltagende sulfatering af belægningerne, og der synes at være en tendens til, at kedler med væsentlige belægningsproblemer også er karakteriserede ved forøgede indhold af sulfat i belægningerne. Dette peger på sulfatsintring som en betydende mekanisme i belægningsdannelsen.

### 5.3 Affaldssammensætningens indflydelse på korrosion og belægningssdannelse

#### 5.3.1 Shredderaffald

I forhold til "normalt affald" kendt fra de andre affaldsforbrændingsanlæg (ca. 85% husholdningsaffald og 15% industriaffald), vil shredderaffald have en række afvigende karakteristika. De væsentligste karakteristika i denne sammenhæng er brændværdi og indholdet af en række grundstoffer. I nedenstående skema er vist disse parametre for normalt affald og for shredderaffald. Værdierne for shredderaffald er indhøstet i nærværende projekt. Sparsomme oplysninger om massebalancer for EBARA processen peger på, at den overvejende mængde af klor, svovl, alkali, zink og bly går videre til forbrændingsprocessen. Værdierne vil dog være afhængige af den aktuelle forbehandlingsproces. Værdierne for normalt affald er indhentet for de ikke flygtige komponenters vedkommende fra massebalancemålinger på Sønderborg KVV, og Cl og S værdierne er baseret på emissionsmålinger og spildevandsmålinger fra Odense Kraftvarmeværk. Normalt affald dækker her en blanding af normalt affald og industriaffald som er det normale brændselsblanding på danske affaldsforbrændingsanlæg. Værdierne er kun retningsgivende, idet der vil forekomme meget betydelige variationer i sammensætningerne.

Tabel 9. Sammensætning af forskellige typer affald

Grundstof	MSW	Shredderaffald		Trykimprægneret træ		Læderaffald	
		SHR	SHR/Norm.	Impr.træ	Impr./Norm.	Læderaffald	Læder/Norm.
		% (w/w)		% (w/w)		% (w/w)	
Brændværdi MJ/kg	10-12	12	~1				
Cl	0,5	2,5	5,0	0,007	0,0	1,4	2,8
S	0,15	0,3	2,0	0,06	0,4	2,3	15,3
Na	0,6	1,5	2,5				
K	0,2	0,8	4,0				
Ca	1,3	3,6	2,8				
Mg	0,1	1,2	12,0				
Si	3,7	10,3	2,8				
Fe	0,4	4	10,0	0,01	0,0	0,1	0,3
Al	1	1,2	1,2	0,01	0,0	0,01	0,0
Zn	0,05	1,5	30,0	0,002	0,0	0,001	0,0
Cu	0,04	1,4	35,0	0,07	1,8	0,001	0,0
Pb	0,05	0,3	6,0				
Ni	0,001	0,04	40,0				
Sn	0,004	0,01	2,5				
Cr	0,005	0,04	8,0	0,14	28,0	2,5	500
Cd	0,0003	0,004	13,3				

Det fremgår heraf, at shredderaffald har samme eller lidt højere brændværdi end normalt affald. Desuden ses en meget betydelig afvigelse i sammensætning, idet shredderaffald har betydeligt større indhold af Cl, alkali og tungmetaller men kun lidt højere indhold af S end normalt affald.

En lidt højere brændværdi kan, afhængigt af hvorledes forbrændingen styres, føre til højere forbrændingstemperaturer, hvilket kan føre til en større frigivelse af metalklorider såsom alkali- og tungmetalklorider.

Det højere kloridindhold i shredderaffald er meget væsentligt, idet det kan føre til en væsentlig større frigivelse af metalklorider i forbrændingen, og kombineret med et øget indhold af alkali og tungmetaller kan der forventes en massiv forøgelse af indholdet af gasfase alkali- og tungmetalklorider i forhold til forbrænding af normalt affald. Hvorvidt dette vil ske, vil dog også være afhængig af, hvorledes reaktanterne (pyrolysegas, forgasningsgas, koksrest) blandes. Det er vanskeligt at forudsæ præcist, hvorledes reaktionerne vil forløbe.

Der er således høj sandsynlighed for en markant forøgelse af indhold af gasfase metalklorider umiddelbart efter forbrændingen i forhold til traditionelle affaldsfyrede anlæg. Denne forøgelse af gasfase alkaliklorider og tungmetalklorider medfører et øget potentiale for korrosion og belægningsdannelse i de efterfølgende kedeldele. Hvorvidt problemerne vil være af overvejende korrosions- eller belægningsmæssig karakter afhænger i meget høj grad af, om disse gasfase metalklorider sulfateres i røggassen og afsættes som metalsulfater eller om de primært afsættes som metalklorider og efterfølgende sulfateres i belægningerne.

I tilfælde af en langsom sulfateringsrate, vil der i høj grad ske afsætning af metalklorider, hvilket vil fremme saltsmeltekorrosion og gasfase klorkorrosion. En højere sulfateringsrate vil derimod øge belægningsproblemerne idet sulfaterne fører til øget sintring af belægningerne således at disse kun vanskeligt fjernes under drift. I tilfælde af en næsten komplet sulfatering af metalkloriderne i røggassen vil korrosionsbelastningen reduceres betydeligt.

Som det fremgår af ovenstående tabel, er Cl-indhold øget væsentlig mere end S-indholdet i forhold til normal affald, hvilket giver et højere Cl/S-forhold. Dette peger i retning af, at det især er korrosionen, som vil forøges. En anden væsentlig faktor er dog en øget tilstedeværelse af en række metaller som formodes at have en katalytisk virkning på oxidationen af  $\text{SO}_2$  til  $\text{SO}_3$  og dette vil trække den anden vej, mod en hurtigere sulfatering og tendens til mere belægningsdannelse.

En yderligere væsentlig faktor er indholdet af Zn, Pb og alkali. Indholdet af disse grundstoffer er alle højere i shredder affald end i normalt affald, men indholdet er markant større for Zn og Pb end for alkali. Flyveaskeanalyser fra nogle affaldsforbrændingsanlæg tyder på, at en stor del af brændslets alkali-indhold fordampes som klorider under forbrændingen, hvorimod det kun er en lille del af brændslets Zn- og Pb-indhold, der fordampes som klorider. Dette peger på, at der vil være rigeligt alkali til dannelse af gasfase alkaliklorider i røggassen, og samtidig vil det højere indhold af Zn og Pb i affaldet formodentlig føre til større dannelse af Zn- og Pb-klorider, der sammen med alkalikloriderne kan kondensere på røroverfladerne. Dette peger i retning af, at der med shredderaffald vil forekomme en større kondensering af klorider på røroverfladerne, og at de kondenserede klorider vil have et højere Zn/alkali-forhold. Dette betyder igen, at der bliver større risiko for dannelse af korrosive smelter.

For koncepter, hvor dele af flyveasken recirkuleres, forventes dette at føre til en endnu mere aggressiv atmosfære, som vil forstærke korrosions- og belægningsproblemerne, idet indholdet af metalklorider forventes at øges.

Hvorvidt der med det pågældende affald optræder mere eller mindre CO-korrosion afhænger mest af neddelingsgraden af affaldet samt design af ovnen.

Sammenfattende peger en kvalitativ vurdering i retning af, at både korrosion og belægningsdannelse vil øges ved forbrænding af shredderaffald i forhold til normalt affald. Størrelsen af stigningen i korrosion og belægningsdannelse kan ikke forudses præcist, men vurderes at være af betydelig størrelsesorden på basis af shredderaffaldets sammensætning. En bestemmelse heraf bero på erfaringer fra og forsøg på pilot- eller fuldskala anlæg med det relevante brændsel



### 5.3.2 Imprægneret affaldstræ

Trykimprægneret træ har meget lavere indhold af Cl, alkali, Zn og Pb samt et lavere Cl/S-forhold end både normalt affald og shredder affald, hvilket tyder på at der ikke vil forekomme betydende problemer med korrosion og belægningsdannelse ved traditionelle dampdata.

### 5.3.3 Læder- og garveriaffald

Læderaffald har et Cl-indhold, der ligger mellem normalt affald og shredderaffald. Samtidig er S-indholdet højt, således at Cl/S-forholdet er væsentligt lavere end for normalt affald og shredder affald. Endeligt er indholdet af alkali, Zn og Pb lavt i læderaffald. Disse forhold betyder ligeledes, at potentialet for korrosions- og belægningsproblemer er forholdsvis lavt.

## 5.4 Praktiske erfaringer

En gennemgang af besøgsrapporterne suppleret med nye informationer om driften af anlæggene viser, at for de undersøgte koncepter er den termiske proces ved forbrænding af produkter efter forgasning/pyrolyse enten ikke demonstreret, demonstreret uden kraftvarmeproduktion, demonstreret med kedler med lave dampdata, demonstreret med mindre aggressivt affald eller kun med kontinuert driftstid under et år. Eksempelvis er Mitsuis proces demonstreret, men kun med husholdningsaffald i fuld skala, og shredder affald i pilot skala; Takumas proces er demonstreret over flere år, men ved moderate dampdata (270 °C/ 48 bar) og frigivne oplysninger er yderst sparsomme; EBARAs proces er demonstreret med shredderaffald med rimelige dampdata (400 °C/ 38 bar). Siden besøget er kedlen blevet modificeret og et nyt rensesystem er påbygget. Der er herefter kun ca. 8 måneders drift med fire nedlukninger som ikke skyldes belægningsproblemer.

Der er således kun få beskrivelser af problemer af ovennævnte karakterer - de beskrevne problemer er primært belægningsproblemer, og der er typisk ikke beskrevet problemer med korrosion og levetid af ildfaste foringer. En væsentlig grund til sidstnævnte er formodentlig, at belægningsproblemer vil vise sig efter relativ kort driftstid, hvorimod problemer med korrosion og nedbrydning af ildfaste foringer ofte først vil vise sig tydeligt efter længere driftstid.

Undersøgelserne har vist, at der er løbende bestræbelser på at opsamle driftserfaringer fra processerne, men dels tager det nogen tid inden, der kan indhøstes kvantitative data for korrosion, nedbrydning af ildfaste foringer og belægningsdannelse, og dels er det ofte svært at få driftserfaringer fra producenterne, idet dette betragtes som kerneviden. For en nærmere vurdering af omfanget af disse problemer er det stadig yderst vigtigt at følge driftserfaringerne på de pågældende anlæg løbende.

## 5.5 Løsningsmuligheder

For at modvirke problemerne med belægningsdannelse og korrosion, bør man se på både primære tiltag som sigter mod at ændre røggasatmosfærens karakteristika og sekundære tiltag som sigter mod at mildne effekten af røggasatmosfærens påvirkninger af kedlen.

### 5.5.1 Primære tiltag

De tiltag, som kan anbefales for minimering af korrosion, er de samme som gælder for kedler, der forbrænder normalt affald. Blot er tiltagene endnu vigtigere på grund af det mere korrosive brændsel.

Der findes i dag ingen entydige og afprøvede løsninger på korrosionsproblemerne. Der findes en række muligheder, som formodentlig kan reducere problemerne, men disse bliver først endeligt afklarede gennem yderligere undersøgelser. Derfor må der gives en anbefaling, som skal baseres på det nuværende grundlag men i erkendelse af, at det er mangelfuldt.

Sænkning af tryk på vand/dampside vil være et af de mest effektive midler til at reducere korrosion af panelvægge, idet dette reducerer overfladetemperaturen. Ligeledes kan en lavere dampetemperatur reducere korrosion af overhederne, men til dette er det mindst lige så vigtigt at reducere røggastemperaturen før overhederne. Det vurderes, at korrosionsproblemerne kan elimineres ved at begrænse dampdata til maksimalt 30 bar og 350 °C eller ved at anvende en fjernvarmekedel.

Minimering af korrosion kræver, at der er så gode forbrændingsbetingelser som muligt for mindske dannelsen af korrosive stoffer, og at kedelvæggene beskyttes mod de korrosive komponenter, som alligevel vil dannes i større eller mindre omfang. Sikring af gode forbrændingsbetingelser stiller en række krav til design af forbrændingsområdet og til driften af anlægget. På nuværende tidspunkt er der ikke noget samlet overblik over, hvorledes de enkelte forbrændingsparametre indstilles optimalt, så det er derfor vigtigst at sikre så gode reguleringsmuligheder som muligt især for parametre som luftfordelinger. Ligeledes bør ovn og kedel være udrustet med registreringsmuligheder for røggastemperaturer, målesteder for CO-målinger og målesteder for spektroskopimålinger af gasfase metalklorider.

### 5.5.2 Sekundære tiltag

For ovn og efterforbrændingszonen skal rørvæggene have påført en ildfast foring for opretholdelse af en tilstrækkelig røggastemperatur (>1100 °C i minimum 2 sekunder) og som også beskytter den bagvedliggende rørvæg mod korrosion. For valg af foringsmateriale og påføringsmetode kan man i nogen grad hælde sig til erfaringerne fra tidligere anlæg. Der kan ikke gives endelige anbefalinger om anvendelse af kakler versus støbemasser. Fuldskalaforsøg peger på, at der kan være muligheder i anvendelse af kakler med spærreluft (hinterlüftet) til yderligere at sikre mod indtrængning af korrosive komponenter.

Det sværeste område i korrosionsmæssig henseende er rørvæggen efter afslutning af den ildfaste foring. På basis af de hidtidige iagttagelser må det forventes, at der kan forekomme en kraftig korrosionsbelastning i dette område. Korrosionsbelastningen vil være kraftigst umiddelbart efter afslutningen af den ildfaste foring, men kraftig korrosionsbelastning kan forekomme over et større område herefter. På anlæg, hvor man har søgt at løse et korrosionsproblem dette sted ved at føre den ildfaste foring længere om i trækkene er det oftest konstateret, at korrosionsproblemet blot følger med. Endvidere kan dette give anledning til en forøgelse af røggastemperaturen ved indgang til overhederne og dermed øge korrosionsbelastningen dette sted.

Det er derfor meget sandsynligt at foring af en større del af rørvæggene i 1. og 2. træk ikke vil løse korrosionsproblemet.

#### *5.5.2.1 Materialevalg*

På nuværende tidspunkt synes den eneste løsning på korrosionsproblemet at være påføring af et metallisk lag af korrosionsbeskyttende materiale på rør og finner. På baggrund af de hidtidige erfaringer, primært i udlandet, bør der vælges et Alloy 625 materiale, altså Ni-baseret med høj Cr-indhold og lavt Fe-indhold. Der kan vælges forskellige påføringsmetoder: påsvejt, påsprøjtet eller co-ekstruderet. Disse 3 metoder har indbyrdes en række fordele og ulemper som skal afvejes mod hinanden.

De fleste erfaringer er baseret på påsvejt Inconel 625 og der foreligger overvejende positive erfaringer i tilfælde, hvor der er påsvejt på frisk panelvæg. Påsvejsningen har fordel af en god tykkelse (2-3 mm) og formodentlig god kvalitet med hensyn til vedhæftning, porøsitet og permeabilitet. Ulempen i forhold til de to andre er opblandingen med rørmaterialet der giver et væsentlig højere Fe-indhold og dermed muligvis reduceret korrosionsbestandighed. Dette kan minimeres ved optimering af svejseproceduren og anvendelse af stort overlap mellem svejsestrengene.

Der findes væsentlig færre erfaringer med påsprøjtet Inconel 625 og erfaringsmaterialet i primært mindre indbygningsforsøg med overhederrør. Påsprøjtningen er tyndere (0,5-0,7 mm) end påsvejsning, men til gengæld ændres sammensætningen ikke i forhold til Inconel 625. I flere tilfælde har forsøg med påsprøjtede coatings udvist problemer med revnedannelse som har ført til accelereret korrosion og afskalning af coatings. Der pågår en del udviklingsarbejde med coatings og der kan måske fremkomme væsentligt forbedrede produkter.

Den tredje mulighed er co-ekstruderede rør. På indeværende tidspunkt markedsføres kun hele rør som co-ekstruderede rør med yderlag som kan være mere eller mindre svarende til Inconel 625 og sort stål inderst. I tilfælde af, at der skal produceres panelvægge kan der anvendes en Inconel 625 finne. Der er relativt få indbygningsforsøg, men resultaterne er overvejende positive, dog er der også konstateret korrosionsskader på sådanne rør.

Prismæssigt er påsprøjtning det billigste med ca. 8-10.000 DKK/m<sup>2</sup>. Påsvejsning er lidt dyrere med ca. 15-20.000 DKK/m<sup>2</sup>. For co-ekstruderede rør er prisen formodentlig 25.000-30.000 DKK/m<sup>2</sup>. Disse priser skal dog tages med forbehold. Umiddelbart vil anvendelse af påsvejt Inconel 625 kunne anbefales, idet der foreligger flest erfaringer med denne løsning. De forøgede anlægsomkostninger forårsaget af Inconel oversvejsning vil efter al sandsynlighed blive rigeligt modsvaret af reducerede vedligeholdelsesomkostninger.

Anvendelse af varmeveksling baseret på keramiske rør med luftkøling er måske en mulighed, men der er uløste problemer med materialer og slaggedannelse.

#### *5.5.2.2 Kedelkonfiguration*

For opnåelse af en rimelig levetid af overhederne er det især vigtigt, at reducere røggasttemperaturen før overhederne og så vidt muligt placere slutoverhederen medstrøms. Der bør opretholdes en røggastemperatur før overhederne på mindre end 650 °C, også ved snavset kedel, og jo lavere røggastemperatur, jo

lavere bliver korrosionsraten. Muligvis bør der vælges en lavere temperaturgrænse end de 650 °C ved højere indhold af Zn- og Pb-klorider; dette vil måske kunne afklares ved at finde damptryksdata for disse klorider i litteraturen. Der kan med fordel indsættes en fordamperhedeflade lige før overhederne, hvilket både vil reducere røggasttemperaturen og give en bedre opblanding af røggassen før overhederne. Det bør også overvejes at indsætte renseanordninger i de tomme træk, i form af sodblæsere eller ultralydrensning. Det er tænkeligt at problemaffaldet vil føre til forøget belægningsdannelse og tykke belægningsninger kan føre til øget korrosion på panelvægge og overheder, sidstnævnte især på grund af øget røggasttemperatur.

Nedkøling af røggassen fra 1100 °C i efterforbrændingsområdet til under 650 °C før overhederne stiller krav til større hedeflade i dette område end i traditionelle affaldskedler.

Mulighed for at reducere indholdet af gasfase metalklorider gennem tilsætning af additiver såsom svovl eller aluminosilikater bør også overvejes. Der er udført forsøg på et traditionelt affaldsfyret anlæg som peger på, at der er muligheder for at reducere både belægningsdannelse og korrosion ved denne fremgangsmåde. Dette kræver dog yderligere forsøg for en nærmere afklaring af muligheder og økonomi.

Det er dog overvejende sandsynligt, at der også skal foretages yderligere tiltag for at reducere belægningsproblemer i ovn, tomme træk og i overhederne. I ovnen kan det foreslås at anvende Inconel oversvejste rør på siderne ved risten, idet dette vil modvirke opbygning af slaggepåbygninger.

#### *5.5.2.3 Kedelrensning*

I de tomme træk kan det blive nødvendigt at installere anordninger til fjernelse af belægningsninger. Dette kan være dampsoedblæsere, vandsodblæsere, tankspulere, styrede vandlanser, akustiske renseanordninger og eksplosiver. Der er gode erfaringer på nogle danske anlæg med renseanordninger baseret på traditionelle tankspulere.

I overhederområdet anbefales anvendelse af bankeværker for at reducere opbygningen af belægningsninger. Det er svært på forhånd at vurdere, om dette vil være tilstrækkeligt og det kan være nødvendigt med yderligere rensninger, såsom flere rensesstop om året eller online rensninger med eksplosiver. Det sidstnævnte kræver dog også, at anlægget er udlagt med gode muligheder for fjernelse af store belægningsmængder på kort tid.

## 5.6 Konklusion

Shredderaffaldets karakteristika - specielt det højere indhold af Cl, alkali og tungmetaller i forhold til normalt husholdnings- og industriaffald - betyder, at der er en kraftigt forøget risiko for korrosions- og belægningsproblemer i kedler til kraftvarmeproduktion.

Der er kun meget få driftserfaringer under de rette betingelser, hvilket betyder, at disse problemer endnu ikke kan kvantificeres. Demonstration af fuldskala drift under de rette betingelser i en driftsperiode på 1-2 år er nødvendig for at kunne kvantificere problemerne med rimelig sikkerhed.

Der er angivet en række muligheder for at løse de meget sandsynlige problemer med nedbrydning af ildfaste foringer, korrosion af fordamperhedeflader under ildfaste foringer og efter afslutning af ildfaste foringer samt korrosion af fordampere.

Korrosionsbeskyttelse især af fordamperhedeflader med Inconel oversvejsninger vurderes at give en reduktion af vedligeholdelsesomkostninger og forbedret rådighed, som langt overstiger de ekstra anlægsomkostninger.



## 6 Referencer

Ref. 1: Malmgren-Hansen, Bjørn; Overgaard, Jørgen; Cramer, Jesper; Metoder til Behandling af Tungmetalholdigt Affald. Fase 2B; Miljøstyrelsen; 2001.

Ref. 2: Malmgren-Hansen, Bjørn; Overgaard, Jørgen; Cramer, Jesper; Metoder til Behandling af Tungmetalholdigt Affald. Fase 1; Miljøstyrelsen; 1999.

Ref. 3: Terkildsen, L; Forbrænding af forurenede spildevæsker, fase 1: Litteraturreport; December 1994; ISBN nr.: 87-7782-054-1.

Ref. 4: Terkildsen, L; Forbrænding af forurenede spildevæsker, Undersøgelse af miljøbelastende stoffer i udgående strømme fra et affaldsforbrændingsanlæg med og uden tilsætning af forurenede spildevæsker til affaldet; December 1994; ISBN nr.: 87-7782-054-1.

Ref. 5: Technologien und Wirtschaftlichkeit von Recycling und Entsorgung von Altfahrzeugen. Alexander Stückel, maj 2000.





Adresseliste for udvalgte virksomheder

Virksomhed	Adresse	Postnr. og by	Land
Borge Garveri AS Att. Johannes Borge		N-5250 Lonevåg	Norge
CT Environment Att. Martin Schaub	Neuwiesensstrasse 15	CH-8401 Winterthur	Schweiz
EBARA Att. Dr. Adrian Selinger	Thurgauerstrasse 40	CH-8050 Zurich	Schweiz
Enviroarc Technologies AS Att. Steinar Lynum	Karenslyst Allé 11, 3. etage POB 673	N-0214 Oslo	Norge
Foster Wheeler Energia Oy Att. Timo Anttikoski	Nuijamiestentie 3	FIN-0040 Helsinki	Finland
H.J.Hansen Recycling Industry Ltd Att. Erling Møller Nielsen	Havnegade 110	DK-5100 Odense C	Danmark
Högdalenverket / Birka Värme AB Birka service / Göran Eidensten	Kvicksundsvägen 16	S-124 59 Bandhagen	Sverige
Igelstaverket Att. Sven Wallin	Nynäsvägen 43	S-152 07 Södertälje	Sverige
Kawasaki Steel Att. General Manager Noburu Yasukawa	Chiba		Japan
MEFOS Att. Lars-Gunnar Johansson	Box 812	SE-971 25 Luleå	Sverige
Mitsui, Yame Seibu Clean Centre Att. General Manager Satoshi Ito	2088-6 Oaza Maezu	Chikugo-City Fukuoka pref.	Japan
Organic Power ASA Att. Hans Bjerkvig	Klingenberggaten 7 a	N-0110 Oslo	Norge
PKA Umwelttechnik GmbH & Co. KG	Heinrich-Rieger-Str. 5	D-73430 Aalen	Tyskland
PPS Pipeline Systems GmbH	Steyermühle 1-3	D-09634 Siebenlehn	Tyskland
Procone Vergasungssysteme GmbH Geschäftsstelle Schweiz	Allmendstrasse 398	CH-4617 Gunzgen	Schweiz
R-plus Recycling GmbH	Heilbronner Strasse 13	D-75031 Eppingen	Tyskland
S+S Metallsuchgeräte und Recyclingtechnik GmbH	Regener Straße 130	D-94513 Schönberg	Tyskland
Salyp nv Att. Ivan Vanherpe	Oostkaai 62	B-8900 Ypres	Belgien
SSE - Separation Systems Engineering GmbH Att. Eric van Looy, Managing Director	Rosengarten 10	D-22 880 Wedel	Tyskland
SVZ	Suedstrasse	D-02979 Spreetal OT	Tyskland

<b>Virksomhed</b>	<b>Adresse</b>	<b>Postnr. og by</b>	<b>Land</b>
Skundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH Att. Hartmut Huck / Jörg Buchholz		Spreewitz	
Takuma Co. Ltd. Att. Daisuke Ayukawa Manager environmental eng. dept II	2-33 Kinrakuji-cho 2-chome, Amagasaki	Hyogo 660-0806	Japan
Thermoselect S.A.	Piazza Pedrazzini 11	CH-6600 Locarno	Schweiz
Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH & Co Att. Fried Sauert	Postfach 4	A-4031 Linz	Østrig
Von Roll Environmental Technology Ltd. Att. Bruno Andreoli	Hardturmstrasse 133 P.O. Boks 760	CH-8037 Zurich	Schweiz

# Logbog for besøg hos Borge garveri (Pyroarc processen)

## Indhold

1	GENERELLE OPLYSNINGER	72
2	KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	75
3	OBSERVATIONER UNDER BESØGET	80
4	KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	82
5	MILJØMÆSSIGE FORHOLD	84
6	ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	86
7	BESKRIVELSE AF INPUT	87
8	BESKRIVELSE AF OUTPUT	88
9	ØKONOMI	92
10	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	95

# 1 Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

I Pyroarc-processen indgår forgasnings-, plasma- og forglasningsteknologi i et samlet koncept til behandling af al læder- og træaffald fra Borge Garveri.

Processen producerer en metallegering og et slaggeprodukt til genanvendelse, samt energi i form af kraft og varme til garveriet.

## 1.2 Tilført affald

Læderaffald i form af falsespåner, slam fra spildevandsanlæg, limlæder og træaffald

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### **Licenshaver**

Enviroarc Technologies AS er licenshaver.

Kontaktperson Steinar Lynum

Telefon: +47-24111252

Fax: +47-24111299

E-mail: steinar.lynum@enviroarc.com

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

Anlægget er ejet af Borge Garveri AS og EnviroArc Technologies AS.

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Pyroarc anlægget er beliggende ved

Borge Garveri AS

N5250 Lonevåg

Norge

Anlægget er vist på Figur 1



Figur 1. Pyroarc anlægget ved Borge garveri.

#### 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

Enviroarc sælger anlæg til behandling af alle typer affald herunder problemaffald og arbejder på at etablere Pyroarc-anlæg til behandling af imprægneret affaldstræ, shredderaffald og andre problematiske affaldstyper.

Formålet med anlægget hos Borge Garveri er behandle læderaffaldet fra garveriet og producerer energi til garveriet, uden at der opstår restprodukter, som må deponeres. Anlægget producerer dels varme til at tørre slam og dels til garveriets forbrug af varme i forbindelse med garvningsprocesserne.

#### 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

15.000 t affald (vådt)/år.

7.700 driftstimer pr. år

Kapaciteten af vådt affald er således ca. 2 t/time.

Forgasserens kapacitet af tørret affald, træflis mv. er ca. 0,7 t/time.

#### 1.8 Byggeår og status for projektet

Pyroarc anlægget ved Borge garveri har været overtaget af garveriet siden januar 2002 og har pr. 1/10-2002 haft ca. 3.000 driftstimer. Driften har været baseret på 5 dages drift med 24 timer/døgn.

Gasmotoren benyttes ikke fuldt ud, da det i perioder med lidt affald er mest økonomisk at producere varmt vand til garveriet. Motoren har været i testet ved fuld kapacitet samt ved normal brug og kører tilfredsstillende på den producerede gas.

Et pilotanlæg findes i Hofors.

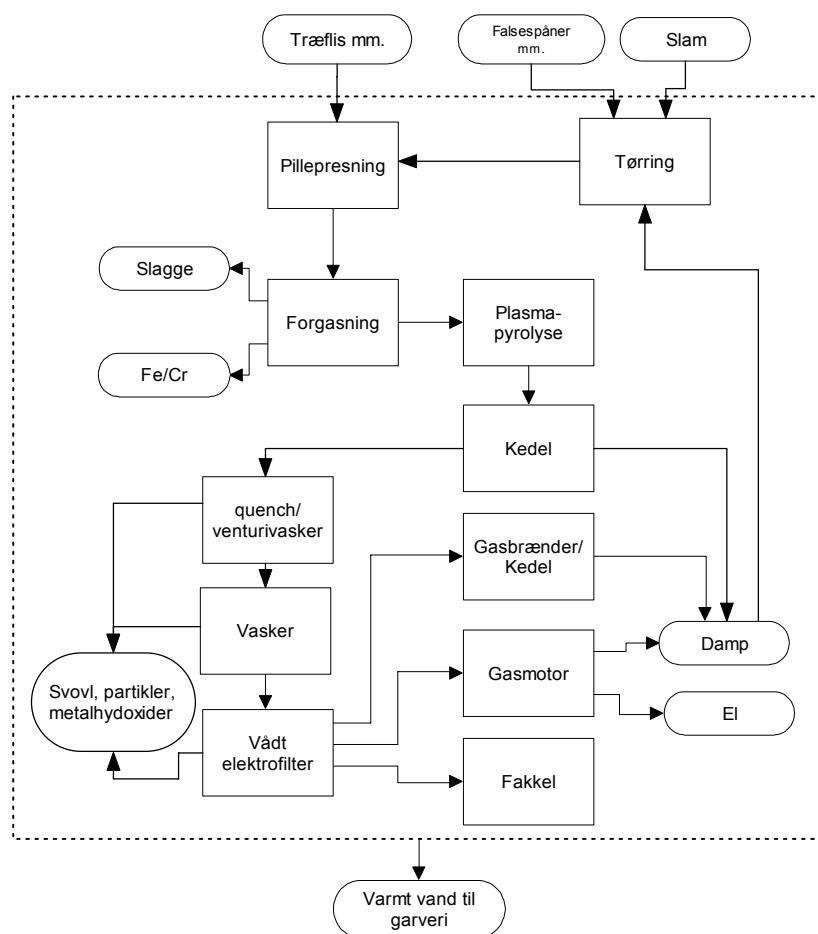
Enviroarc arbejder med etablering af andre Pyroarcanlæg i Sverige, Italien, Tyskland, Polen, Malaysia og flere anlæg i Norge.

Enviroarc forventer at kunne bygge Pyroarcanlæg med kapaciteter op til 7 t/time (ca. 50.000 t/år).

## 2 Kortlægning og beskrivelse af anlægget

Et procesdiagram over anlægget er vist i Figur 2 og Figur 3.

### 2.1 Procesdiagram



Figur 2 Procesdiagram for forgasningsanlægget

### 2.2 Affald

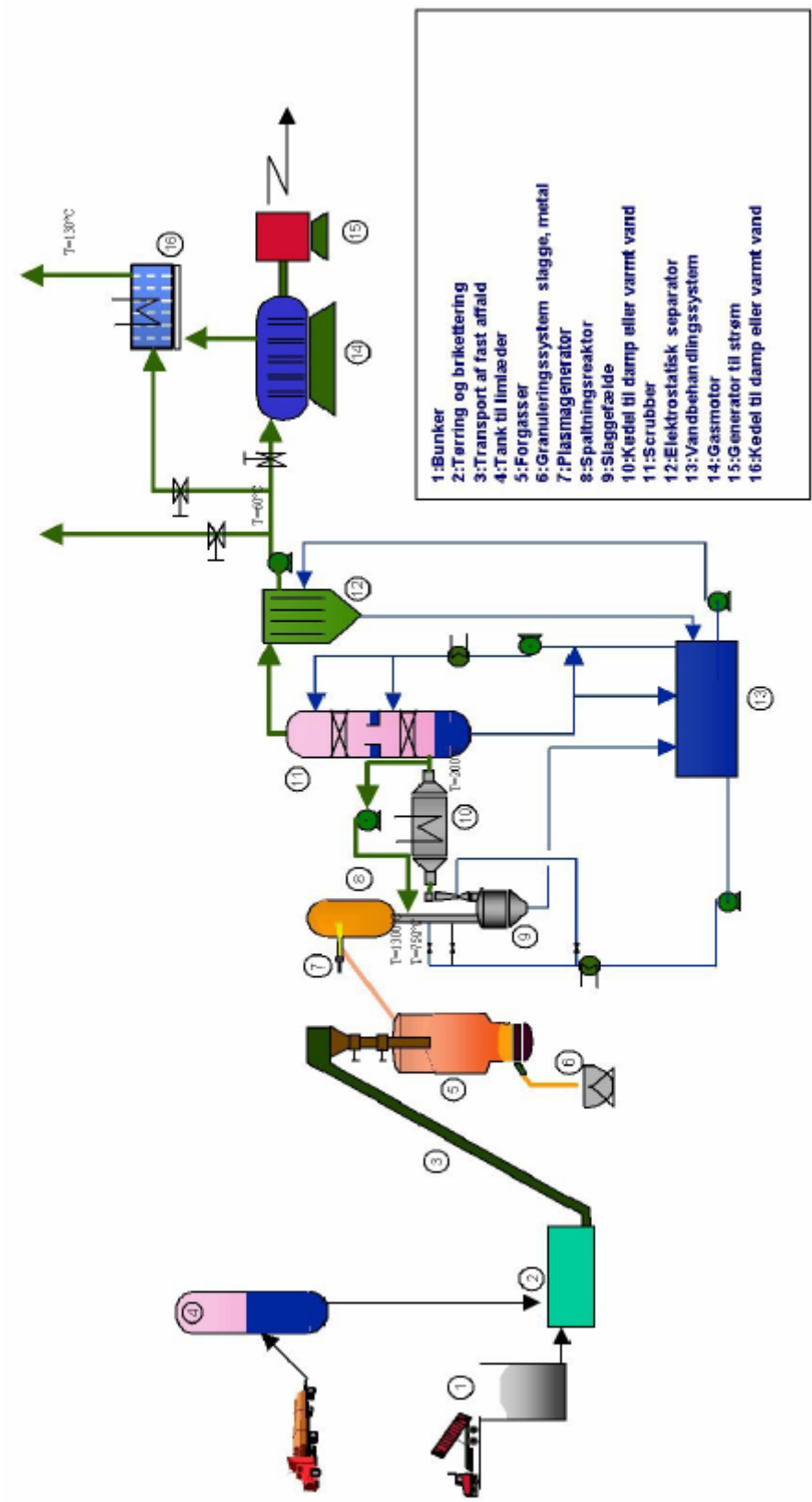
Affaldet som behandles stammer fra Borge garveri. Affaldet fra garveriet består af

- falsespåner som opstår ved tykkelsesjusteringen af læderet
- afskær fra læderproduktionen
- slam fra garveriets spildevandsrensning, som indeholder jern fra fældningsprocessen. Der behandles endvidere slam fra en tidligere aluminiumsbaseret fældningsproces.
- håraffald

- limlæder som er fedt fjernet fra de modtagne huder
- træaffald fra engangspaller mv.

Mængdemæssigt er slammet langt den største affaldsfraktion. Garveriet behandler pt. alle affaldsfraktioner bortset fra den lille fraktion af afskær, da Borge endnu ikke er anskaffet en passende neddel.





Figur 3. Opbygning af Borges Pyroarc-anlæg.

### 2.3 Forbehandling

Falsespåner og håraffald blandes med det afvandede slam, som opbevares i bigbags. Blandingen tilføres anlæggets lagerbunker, som er opdelt i sektioner til de forskellige typer affald.

Herfra tilføres blandingen tørreanlægget sammen med indpumpet limlæder. Tørreren er en "multicoil" modstrømsløser, som opvarmes med damp fra Pyroarc-anlægget.

Affaldet tørres ned til < 5% fugtindhold, hvorefter blandingen føres til et pillepresningsanlæg med ringmatrice. Pillepressen producerer brændelsespiller med en diameter på 50 mm. De færdigproducerede piller føres til en lagerbunker.

### 2.4 Forgasning

Brændelsespillerne tilføres en modstrøms skaktovnsforgasser sammen med koks og træflis fra nedfliset affald. Affaldet forgasses ved 1500°C sammen med tilsatte siliciumholdige sten med brug af forvarmet luft. Herved produceres en flydende slagge og en jern/krom-metallegering. Da forgasseren arbejder efter modstrømsprincippet, indeholder produktgassen en del tjærestoffer og ledes derfor forbi en plasmagenerator. Produktgassen fra forgasseren blandes i et reaktionskammer med en plasmagas med en temperatur på op til 5000°C og opnår derved temperaturer på over 1200°C i ca. 0,5 sekunder (se Figur 4). Herved nedbrydes alle organiske stoffer til simple molekyler, så der dannes en syntesegas af brint, kulmonoxid, kuldioxid, vanddamp og kvælstof.



Figur 4. Top af forgasser med plasmagenerator (blå).

### 2.5 Energiproduktion og røggasrensning

Syntesegassens temperatur sænkes fra ca. 1200 °C til ca. 650 °C ved recirkulering af produktgas. Herefter produceres damp i en kedel med en syntesegastemperatur efter kedlen på ca. 200°C.

Kedlen renses ved gennemblæsning af produktgas.

Rensningen af syntesegassen sker i en venturiskrubber, hvor gassen bratkøles ved indsprøjtning af vand. Herved fjernes salte og partikler. Efterfølgende passerer gassen en cyklon, hvorefter gassen renses i et vasketårn, hvor der tilsættes base. Herved fjernes tilstrækkeligt svovlbrinte til at kunne overholde krav for udledning af  $\text{SO}_2$  efter forbrænding. Til sidst følger et vådt elektrofilter.

Herefter kan gassen enten ledes til en gasfyret dampkedel eller til gasmotor med generator til produktion af kraft og varme. Den maksimale el-produktion er omkring 580 kW. Herudover findes en sikkerhedsfakkel.

Da garveriet bruger store mængder vand ved lave temperaturer, kan der opnås en høj energiudnyttelsesgrad, idet restvarme i kondenserede dampstrømme og anden overskudsvarme ved lav temperatur kan udnyttes til forvarmning af vand til garveriet.

## 3 Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 18/9 2002 fra kl. 11:30 til kl. 15. (Uge 38).

### 3.2 Indsatsmaterialer behandlet under besøget

Type:  
Mængde i t/h: 0 t/h  
Kapacitetsudnyttelse: 0 %

Anlægget var stoppet på grund af en mindre reparation under besøget.

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid: 24 timer/døgn, 5 dage per uge  
hvis der findes tilstrækkeligt affald.

Revisioner: 1 pr. år.

Idet der pt. ikke er nok affald på garveriet, samt eksternt affald til 7 dages drift køres 24 timer/døgn i 5 dages perioder, mens anlægget lukkes ned i weekendene. Dette er ikke optimalt ud fra et driftssynspunkt, da op og nedlukninger reducerer levetiden af udmuringer, men er stadig den bedste økonomiske løsning, indtil der skaffes mere affald.

Driftsresultater for uge 36.

Driftstid: 113 timer  
Tilført brændsel til forgasser:

- Læderaffaldsbriketter 39,5 t
- Koks: 3,5 t

Mængden svarer til 0,38 t/time eller ca. 50% af forgasserens kapacitet.

Briketteproduktion:

- Behandlet slam, limlæder håraffald og falsespåner: 90 t

Dette svarer til 0,8 t vådt affald/time eller ca. 45% af brikettepressens kapacitet.

Der produceres kun el, når der er tilstrækkeligt med affald til, at dette er lønsomt. Så længe der ikke er mere affald end, at energien herfra kan udnyttes til tørring af slam og levering af varme til garveriet, kan det ikke betale sig at producere strøm til nettet. Gasmotoren kan operere ned til 50% af nominal kapacitet dvs. ca. 290 kW.

### 3.4 Output under besøget

#### 3.4.1 Restprodukt

Ingen produktion under besøg

#### 3.4.2 El/varme

Ingen produktion under besøg

Anlægget producerede i uge 36:

Slagge:	1.780	kg
Metallegering:	200	kg
Damp:	79.180	kWh

# 4 Kritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget blev følgende spørgsmål diskuteret:

1. **Er der forekomst af kondenserbare stoffer og forureninger i processernes forskellige trin; fx af tjære, sod, metaller, salte og oxider i pyrolyseovens top, i gaskanaler eller i efterforbrændingskamre?**

Der er ikke registreret problemer med tjære fra forgasningsskakt til plasmageneratoren.

Efter ombygning af spaltningsreaktoren har der ikke været problemer med afsætning eller kondensering af stoffer på procesenhederne nedstrøms i spaltningsreaktoren.

2. **Hvordan kontrolleres mængden af kondenserede stoffer, dvs. hvordan renses de kritiske procesafsnit for afsætninger?**

Gassen fra spaltningsreaktoren, som har en temperatur på 1200-1300 °C, bratkøles med recirkuleret gas til 650 °C for at kondensere salte og derved undgå at klæbrige partikler sætter sig på overflader nedstrøms i anlægget.

Kedlen holdes ren med et "big blaster" system, som i faste sekvenser skyder kedlen ren med komprimeret produktgas.

3. **Hvilken kemisk stabilitet har restprodukter fra processen? Er de lagringsstabile mht. tungmetaller og dermed egnet til deponering (data for standardudvaskningstests), eller lækker der tungmetaller, og skal de betragtes som miljøfarligt affald?**

Udvaskningsdata viser at slaggen tilfredsstillende danske krav til udvaskning for kategori II (se Tabel 7).

4. **Findes der dioxiner (eller andre halogenerede organiske stoffer) i restprodukter eller evt. mellemprodukter som skal oparbejdes andetsteds?**

Affaldet omdannes til rensede brændbar gas, slagge og metal.

Fra gasrensningen opstår spildevandsslam, som behandles på vandrensningsanlægget ved Borge garveri. Fra vandrensningsanlægget ledes produceret fældningsslam retur til Pyroarc processen. Der er ikke påvist dioxiner eller halogenerede hydrokarboner i fældningsslammet fra spildevandsanlægget.

Røggas fra anlægget indeholder væsentligt mindre end 0,1 ng/Nm<sup>3</sup> dioxin.

Slagge og metal bør grundet den høje behandlingstemperatur og et lavt kulstofindhold ikke indeholde dioxin. Der er ikke målt for dioxin i slagge

eller metaller, men resultater for andre smelteprocesser viser en meget lav koncentration (se besøgsrapport for Thermoselectprocessen ved Kawasaki steel, fase 2B).

# 5 Miljømæssige forhold

## 5.1 Emissioner til luften

Tabel 1. Emissioner til luften.

	Målt/garanti (11% O <sub>2</sub> )	EU-krav (11% O <sub>2</sub> , tør gas)
	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>x</sub>	30	50 (24 h)
NO <sub>x</sub>	80 *	200 (24 h)
HCl	<0,2	10 (24 h)
CO	50 (tilladelse på 3000) *	50 (24 h)
Støv	1,7 (30 min)	30 (30 min)
TOC	<0,02	10 (24 h)
Sb+As+Pb+Cr+Co +Cu+Mn+Ni+V	0,0075	0,5
Cd+Tl	0,000037	0,05
	ng -TEQ/m <sup>3</sup>	ng- TEQ/m <sup>3</sup>
Dioxiner	0,05	0,1

\* Måling udført under operation af gasmotor

## 5.2 spildevandsudledning

Slammet fra gasrensningen behandles i garveriets spildevandsrensningsanlæg, før det sendes tilbage til Pyroarcanlægget sammen med andet slam fra garveriet.

## 5.3 Støj

Støjniveauet kunne ikke vurderes under besøget, men forventes at være af samme størrelse som for andre termiske anlæg.

## 5.4 Lugt

Da anlægget var ude af drift under besøget, kunne vi ikke vurdere evt. lugtproblemer. Der må dog altid forventes en hvis afgivelse af lugt fra garverirester. Forgasningsanlægget kan ikke afgive lugt da kravene til tæthed er langt større end ved et forbrændingsanlæg.

## 5.5 Affaldsproduktion

Slam fra glasrensning behandles på garveriets spildevandsrenseanlæg før det recirkuleres tilbage i Pyroarcanlægget sammen med andet slam fra garveriet.

## 5.6 Samlet dioxinemission

Dioxinindholdet i metaller og slagge kendes ikke.

Der bør dog ikke kunne forekomme dioxiner i nogle af fraktionerne dels grundet den høje temperatur, som smelter og metallegeringer har været udsat



for, dels på grund af den reducerende atmosfære, som røggasrensningssprodukterne udvindes ved.

Dioxinindholdet i røggasrensningssprodukter måles to gange årligt

## 6 Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Besøget var for kort til at bedømme støvbelastningen. Når anlægget er i drift, kan der kun forekomme støv ved brændselsproduktion. Under reparationer, hvor anlægget åbnes, må der tages samme forholdsregler som ved reparationer af andre termiske anlæg med anvendelse af passende beskyttelsesudstyr. Der er installeret et centralt afsugningssystem, som fjerner støv fra eventuelle udslip ved reparationer o. lign. Opsamlet støv tilføres briketteringsanlægget og efterfølgende forgasningsanlægget.

### 6.2 Internt støjniveau

Kunne ikke bedømmes.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Her gælder samme forholdsregler ved reparationer, som er nævnt i afsnit 6.1.

### 6.4 Dioxinbelastning

Vi vurderer, at der ikke emitteres dioxiner fra anlægget.

### 6.5 Andet; fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Garveriaffald afgiver en vis lugt, indtil der er fremstillet brændselspiller.

## 7 Beskrivelse af input

Mængden af affald til garveriet er i dag mindre end forudsat i designet af anlægget. Mængden og sammensætningen kan variere, men som udgangspunkt for designet af anlægget blev benyttet sammensætningen angivet i Tabel 2.

Tabel 2. Designdata for tilførte mængder affald

Type	Tørstofindhold (vægt %)	Brændværdi (MJ/kg tør)	Affald (kg/h)
Slam (Borge Garveri <sup>1</sup> )	30	16	394
Slam (Lager <sup>2</sup> )	30	16	1.221
Limlæder	15	25	197
Håraffald	40	29	46
Rotosil	40	29	16
Spalt	40	21	3
Klippefiller	85	21	2
Falsespåner	50	21	25
Andet usorteret	70	14	14
Plast	98	26	3
Træaffald	50	19	10
<b>SUM</b>			<b>1.931</b>

<sup>1</sup> Jernholdigt slam

<sup>2</sup> Aluminiumholdigt slam. Kan kun indfyres i begrænset mængde sammen med jernholdigt slam af hensyn til slaggets smeltepunkt

Brændselsspillerne er vist på Figur 5.



Figur 5. brændselsspillerne til Borges Pyroarc-anlæg er ca. 50 mm i diameter.

Ved behandling af alternative brændsler som træflis mm. bør affaldet have en brændværdi på mindst 10-12 MJ/kg og højst 35-40% fugtindhold.

## 8 Beskrivelse af output

Borge har oplyst denne typiske masse- og energibalance (se Tabel 4).

### 8.1 Kraft/varme

Der produceres el af den rensede produktgas i en gasmotor/generator til dækning af anlæggets energiforbrug. Der kan maksimalt produceres 580 kW med den eksisterende motor. Det vil dog være muligt at producere 650 kW el med en større motor.

Anlæggets el-forbrug er 540kW, så der opnås et lille overskud. De 73 kW stammer fra el-forvarmning af luft, som vil kunne klares med damp, hvorved det teoretisk vil være muligt at opnå et overskud på 183kW med anden motor.

Anlægget producerer også damp og varme, som benyttes i garveriet og til tørring af slam til brændselspiller.

I Tabel 3 er vist et energiregnskab for det termiske anlæg henholdsvis uden og med energiforbrug til tørring af slam

Tabel 3. Energibalance for termisk anlæg.

	Med slamtørring	Uden slamtørring
Brændselspiller	670 kg/h	670 kg/h
Energiindhold	14.8 MJ/kg	14.8 MJ/kg
Koks	30 kg/h	30 kg/h
Energiindhold	28.5 MJ/h	28.5 MJ/h
Virkningsgrad gasmotor	35 %	35 %
Maksimal el-produktion	580 KW	580 KW
<b>Energi input</b>	<b>KW</b>	<b>KW</b>
Brændselspiller	2.754	2754
Koks	238	238
Forvarmet luft (el)	73	73
Plasmagenerator (el)	267	267
Diverse motorer	200	200
Dampforbrug tørring	1.086	0
Sum	4.619	3.533
<b>Energi output</b>		
Forbrændingsvarme	1.913	1.913
Følbar varme	1.128	1.128
Slagge og metal	86	86
Varmetab forgasser	70	70
Varmetab reaktor	100	100
Varmetab Plasmagenerator	38	38
Diverse tab	198	198
Varmetab tørring	435	0
Genvunden energi tørring	652	0
Sum	4.619	3.533
<b>Produceret energi og tab</b>		
Produceret el	580	580
Produceret damp + varmt vand	2.945	2.345
Internt forbrug og tab	1.094	608
<b>Sum</b>	<b>4.619</b>	<b>3.533</b>

I Tabel 4 er vist en samlet masse og energibalance ekskl. energiforbrug til slamtørring.

Tabel 4. Masse- og energibalance for Pyroarc-anlæg ved fuld kapacitet (ekskl. slamtørring)

Proces Affald	Pyroarc Tørt affald			
	Input		Output	
Massebalance	kg/h	GJ/t	kg/h	GJ
Brændselspiller	670	14,80		
Koks	30	28,5		
Slagge			136	
Jernkromlegering			24	
Svovl			0	
metalhydroxider			0	
røggasrensprodukt			0	
Brændsel konverteret til produktgas			540	
Sum brændsel	700	15,39		
<b>Total Sum</b>	700		700	
Energibalance	Input		Output	
	GJ	MW	GJ	MW
Input energi brændsel	10,77	2,99		
Forbrug el plasmapyrolyse	0,96	0,27		
Forbrug el motorer mv. forgasser	0,72	0,20		
Forbrug el forvarmet luft	0,26	0,07		
Sum el forbrug	1,94	0,54		
Brutto Produceret el			2,02	0,58
Netto Produceret damp + varme			8,51	2,36
Netto Produceret el				0,04
Netto totalt produceret el + varme				2,38
Netto total virkningsgrad				<b>80</b>

Den forholdsvis høje virkningsgrad skyldes, at varmt vand med lav temperatur kan afsættes til garveriet.

I ovenstående er ikke inkluderet nettoenergiforbruget til slamtørring. Fra processen til slamtørring genvindes 60% af den forbrugte energi.

## 8.2 Metaller og slaggegranulat

Anlægget producerer en jern/krom-legering med en sammensætning som vist i Tabel 5. Legeringen afsættes til stålværk med en positiv afregningspris.

Tabel 5. Metalanalyse.

Grundstof	Vægt %
C	1,9
Si	2
Fe	88
P	4
S	1,2
Cr	3

Slaggens sammensætning er vist i Tabel 6. Slaggen tappes pt. i store portioner. Et alternativ er at bratkøle slaggen med vand for at producere 2-5 mm

store slaggekorn. Generelt genvindes metaller, som er ædlere end jern med metalfraktionen, mens andre metaller indgår i oxideret form i slaggen.

Tabel 6. Slaggeanalyse

Indhold	Vægt %
Na <sub>2</sub> O	2,7
MgO	5,5
K <sub>2</sub> O	0,40
CaO	23,5
TiO <sub>2</sub>	1,1
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2
MnO	0,26
FeO	7,6
NiO	0
CuO	0,01
ZnO	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,4
SiO <sub>2</sub>	32,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25
PbO	0
C	0,06
S	3,3

På Figur 6 er vist et stykke af metallegeringen og et stykke af slaggen.



Figur 6. metal legering (til venstre) og slagge (til højre).

Slaggen har udvaskningsdata som vist i Tabel 7.

Tabel 7. Udvasningsdata for slagge fra Borges Pyroarc-anlæg.

Stof	Målt *	Dansk slagge- Kategori II	Dansk slagge- kategori III
	ug/l	ug/l	ug/l
As	<1,0	0 - 8	8 - 50
Ba	48,6	0 - 300	300- 4000
Pb	0,63	0 - 10	10 - 100
Cd	0,077	0 - 2	2 - 40
Cr (total)	0,81	0 - 10	10 - 500
Cu	6,2	0-45	45-2000
Hg	-	0 - 0,1	0,1- 1
Mn	53,7	0- 150	150- 1000
Ni	8,8	0 - 10	10- 70
Zn	14,6	0- 100	100 - 1500
Sb	0,23	Ingen krav i DK	Ingen krav i DK

\*Slaggen overholder som det ses de danske krav for udvaskning i kategori II

### 8.3 Restprodukter

Slam fra gasrensingsanlægget behandles i garveriets vandrensingsanlæg før det recirkuleres til Pyroarc-processen sammen med andet slam fra garveriet.

# 9 Økonomi

## 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

I det følgende er foretaget en beregning af behandlingsomkostningerne baseret på økonomidata for anlægget ved anvendelse til behandling af læderaffald med produktion af brændselsspiller ud fra slam, som tørres med damp fra anlægget.

Anlægsstørrelse:	15.000 t vådt affald/år
Rente:	7% p.a.
Tilbagebetalingstid:	15 år

Investeringssum inkl. bygninger: 50 mio. DKK.

## 9.2 Salgspriser for produkter

Salg af elektricitet:	0,35 DKK/kWh
Salg af varme:	0,15 DKK/kWh
Salg af metallegering samt udgift til transport:	0,00 DKK/kg
Salg af slagge:	0,00 DKK/kg

Der regnes med en netto overskudsproduktion af damp/varme på 2,36 MW svarende til 1.100 kWh/t tilført vådt affald (~ 2,1 t vådt affald/time). Salgsprisen for damp/varme afregnes til 15 øre/kWh, selv om dampindholdet kan afsættes til en højere pris.

## 9.3 Udgifter til deponering og løn

Gennemsnitlig løn til personale:	300.000 DKK/person
----------------------------------	--------------------

## 9.4 Driftsudgifter

Energi:	0 DKK da der produceres overskud af strøm og varme
Personale:	16 (basis: 24 h, 320 dage)
Kemikalieforbrug:	914.700 DKK/år
Vandforbrug/gasbehandling	200.400 DKK/år
Vedligehold og reparation:	1.090.655 DKK/år
Div. forsikringer mv.:	Ikke medtaget
Administration og overhead:	Ikke inkluderet



## 9.5 Behandlingsomkostninger

Beregningen af behandlingsomkostninger er et estimat, som skal vise niveauet for behandlingsomkostningerne. Den endelige behandlingspris vil være afhængig af anlægsplacering, faciliteter til stede, valgte bygningsstandarder osv. samt størrelsen af den rabat, der ved forhandling kan opnås på købsprisen for anlægget.

Beregningen viser følgende udgifter

Kapitaludgifter:	366 DKK/t
Driftsudgifter:	467 DKK/t
Indtægter:	165 DKK/t

Behandlingsprisen estimeres således til ca. 670 DKK/t vådt affald inkl. bygninger for et turn-key-anlæg ved en tilsvarende placering i Danmark.

Der regnes ikke med sparede udgifter til deponering af læderaffaldet. Anlægget giver ved placeringen ved Borge overskud, når disse udgifter fratrækkes.

Det skal bemærkes at prisen er pr. ton vådt affald. Hvis der regnes pr. ton tørret affald tilført forgasningsanlægget, er behandlingsprisen omkring 2.000 DKK/t. Hvis der behandles affald, som ikke skal tørres (fx træflis), er behandlingsprisen i størrelsesordenen 1.200-1.400 DKK/ton for så lille et anlæg.

### 9.5.1 Anvendelse af PyroArc processen til shredderaffald og imprægneret træ

Enviroarc har efter besøget leveret et overslag over økonomien i Pyroarc-anlæg, der behandler trykimprægneret træ og shredderaffald.

Pyroarc processen har været afprøvet med briketteret shredderaffald og imprægneret træ i forsøgsanlægget i Hofors.

Enviroarc har foretaget en økonomiberegning for turn-key anlæg til henholdsvis shredderaffald og imprægneret affaldstræ baseret på følgende forudsætninger:

Anlægsstørrelse: 50.000 ton/år (ca. 7 t/h)

Der regnes med 15 års afskrivning og 7% rente.

Anlæggene omfatter gasmotorer til produktion af elektricitet og varme og en kedel, der producerer damp af den varme produktgas. Der regnes med levering af fjernvarme ved ca. 120°C. De producerede mængder energi er konservativt sat, og der vil kunne opnås en højere virkningsgrad, hvis der er mulighed for at afsætte energi med lavere temperatur fx til forvarmning af fjernvarmevand.

Anlægget til shredderaffald omfatter brikettering af brændselspiller, men ikke tørring til < 10% fugtindhold, som kræves for at kunne presse stabile briketter. For shredderaffald er regnet med en nedre brændværdi på 13 MJ/kg og et askeindhold på 40-50% inkl. metaller. Der produceres en jern/kobber-baseret legering og en slagge med forventede gode udvaskningsresultater.

For CCA imprægneret træ er regnet med en nedre brændværdi på 15,4 MJ/kg, 1-2% askeindhold inkl. metaller og 25% fugtindhold.

Enviroarc forventer, at 50-80% af arsenindholdet i træet ender i procesgassen, hvorfra det kan udsepareres i et slamprodukt via en renseproces. Ved tilbageføring af slammet til forgasseren og tilsætning af jernholdigt materiale, bør der ifølge Enviroarc kunne produceres en jern-arsenholdig smelte, hvor arsen er hårdt bundet. Kobber og krom vil fordele sig på forskellig vis mellem den smeltede slagge og metalmelter. Der er ikke fremlagt tilstrækkelige forsøgsdata til at kunne dokumentere fremgangsmåden nærmere.

Der er regnet med en lønomkostning på 300.000 DKK/år i gennemsnit for 23 mand + 600.000 DDK/år til en anlægsejer.

Tabel 8. Behandlingsomkostninger ved behandling af shredderaffald og CCA-imprægneret træ

Brændsel	Shredderaffald	CCA-imprægneret træ
Investering inkl. bygninger <sup>1</sup>	245 mio. kr.	236 mio. kr.
Salg af elektricitet	1,5 MW	3,9 MW
Salg af fjernvarme	11,2 MW	13,7 MW
Kapitaludgifter	538 DKK/t	518 DKK/t
Driftsudgifter	387 DKK/t	382 DKK/t
Indtægter	315 DKK/t	489 DKK/t
<b>Behandlingsomkostning</b>	<b>610 DKK/t</b>	<b>411 DKK/t</b>

<sup>1</sup> Omfatter udgifter til bygninger og anlægsarbejde på 36 mio. DKK.

De beregnede behandlingsomkostninger er ekskl. sparede deponeringsomkostninger og skal kun betragtes som et vejledende niveau.

## 10 Konklusioner og anbefalinger

### 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Anlægget bedømmes anvendeligt til behandling af danske affaldsfraktioner, som indeholder metaller og mineraler med tungmetalindhold. Udover læderaffald vil et sådant anlæg kunne tænkes benyttet til smeltning af mineralfraktioner fra shredderaffald, hvis større metaldele er fjernet, eller til behandling af imprægneret affaldstræ. Det nuværende forbrug af koks vil kunne erstattes af træflis fra fx creosot-imprægneret træ eller andet træ. Vi forventer, at Pyroarc-anlæg kan forgasse imprægneret træ uden problemer. Anlægget ved Borge garveri startes således altid op på træflis, som er et velfungerende brændsel.

Enviroarc har udført forsøg med briketteret shredderaffald og CCA-imprægneret træ på forsøgsanlægget i Hofors og mener ud fra de samlede erfaringer, at de vil kunne håndtere affaldstyperne med Pyroarc processen.

Enviroarc har imidlertid ingen langtidserfaring med behandling af shredderaffald og CCA-imprægneret træ.

### 10.2 Omkostningsstruktur

Behandlingsomkostningerne for læderaffald er omkring 700 DKK/t tilført vådt affald. Det tilførte våde affald læderaffald omfatter slam og udgør 15.000 t/år mens det tørrede affald til forgasseren udgør ca. 5.000 t/år.

Behandlingsomkostninger for et anlæg til shredderaffald på 50.000 t/år er anslået til ca. 600-650 DKK/t mens behandlingsomkostningerne for et anlæg til imprægneret træ med en kapacitet på 50.000 t/år er anslået til 400-450 DKK/t ekskl. sparede deponeringsomkostninger.

### 10.3 Affaldets udnyttelsesgrad

Anlægget genvinder metaller ved smeltning. Hvis der tilsættes affald, som hovedsageligt er baseret på kobber og jern som fx rester af shredderaffald, vil anlægget kunne producere en jern/kobber-legering. Hvis der behandles læderaffald inkl. jernholdigt slam, kan anlægget producere en jern/krom legering.

Ved behandling af CCA-imprægneret træ forventer Enviroarc, at hovedparten arsenindholdet i træet genfindes i procesgassen, hvorfra det kan udsepareres i et slamprodukt via en renseproces. Ved tilbageføring af slammet til forgasseren og tilsætning af jernholdigt materiale, bør anlægget ifølge Enviroarc kunne producere en jern-arsen-holdig smelte, hvor arsen er hårdt bundet. Der er ikke fremlagt tilstrækkelige forsøgsdata til at kunne dokumentere fremgangsmåden nærmere.

Udover udvundne metalfraktioner vil mineraler og oxiderede metaller findes i en tæt glasagtig slagge, som forventes at overholde kravene til genanvendelse i den danske restproduktbekendtgørelse for kategori III og muligvis også kategori II. Dette bør dog undersøges nærmere.

Slagge, der overholder udvaskningskravene, vil kunne anvendes til vejfyld eller indgå i byggematerialer.

Metaller som aluminium vil mistes sammen med slaggen

#### 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Emissioner fra anlægget overholder de europæiske krav. Anlægget producerer ingen restprodukter til deponering ved behandling af læderaffald.

#### 10.5 Muligheder for knowhow-formidling

Knowhow-formidling kan ske via Enviroarc.

# Logbog for besøg hos H.J.Hansen

## Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	98
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	100
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	102
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	103
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	104
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	105
7. BESKRIVELSE AF INPUT OG OUTPUT	106
8. ØKONOMI	107
9. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	108

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Mekanisk sorteringsanlæg for shredderaffald

## 1.2 Tilført affald

Shredderaffald direkte fra shredderen.

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

Anlæggets opbygning og sammensætning af udstyr er udviklet af og hos H.J. Hansen i Odense. Knowhow er tilstede hos H.J. Hansen, der dog ikke er licenshavere.

Kontaktperson er Produktionsdirektør, Erling Møller Nielsen

Tlf.: +45 63109100  
Fax: +45 63109101  
E-mail: [emn@hjhansen.dk](mailto:emn@hjhansen.dk)

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

Anlægget ejes af H.J.Hansen og kontaktpersonen er Erling Møller Nielsen.

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Anlægget er beliggende hos:

H.J.Hansen  
Recycling Industry Ltd  
Havnegade 110  
Dk 5100 Odense C

## 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

Det er anlæggets formål ved sortering at genvinde de fri metaller af jern, kobber og aluminium samt legeringer af disse metaller.

## 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

Kapaciteten for anlægget er udlagt således, at det kan behandle alt affald fra shredderen og synke/flyde-separationsanlægget hos H. J. Hansen. Anlægget kan behandle op til 30 tons pr. time i spidsbelastningssituationer.

## 1.8 Byggeår og status for projektet

H. J. Hansen har siden starten af 1990'erne udført en række forsøg med nyttiggørelse af shredderaffald. I de første år blev der udført forsøg med forbrænding af visse fraktioner af shredderaffald, evt. skulle dette ske i samforbrænding med husholdningsaffald. Alle forbrændingsforsøg gav problemer med belægninger i kedler.

Siden 1998 har man koncentreret sig om ved mekanisk sortering at genvinde shredderaffaldets frie metaller.

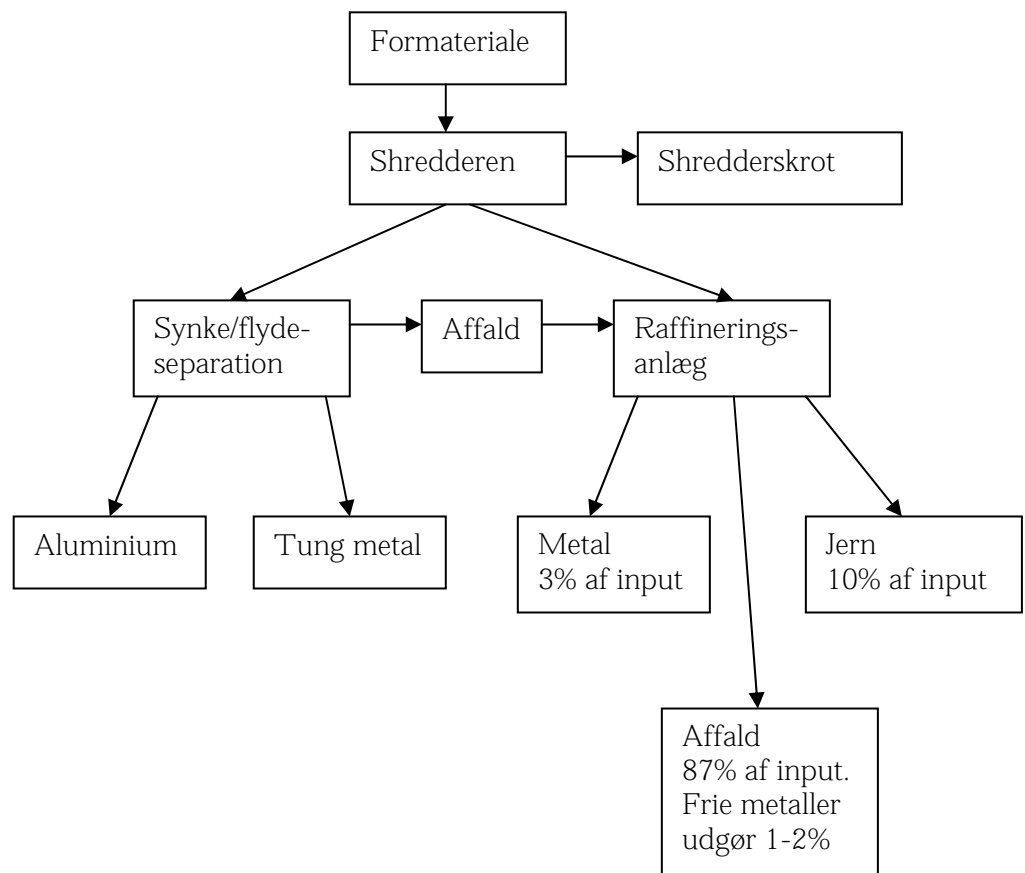
Et raffineringsanlæg er siden blevet opbygget, og dette anlæg er fortsat at betragte som en prototype under udvikling og udbygning.

Anlægget påtænkes nu udbygget således, at også glas og plast kan udsorteres af shredderaffaldet til genbrug.

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

H.J.Hansen ønsker af hensyn til konkurrencen på markedet ikke at give detaljerede oplysninger om anlæggets opbygning. En principskitse er dog vist i Figur 1.



Figur 1. Principdiagram

### 2.2 Affald

Anlægget behandler hovedsageligt shredderaffald direkte fra shredderen. Desuden behandles affaldet fra synke/flyde-separationsanlægget.

### 2.3 Forbehandling

Ingen forbehandling af shredderaffaldet er muligt i den konstellation, man har valgt og er heller ikke nødvendigt.



#### 2.4 Proces(ser)

Raffineringsanlæggets processer består af mekaniske neddelingsprocesser og sigtningsprocesser. Desuden anvendes moderne sensor- og sorteringsteknologi. Disse processer vil på grund af H.J.Hansens ønsker om hemmeligholdelse ikke blive omtalt nærmere.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-08-14 fra kl. 10:00 til kl. ca.15:00.

### 3.2 Tilførte materialer behandlet under besøget

Shredderaffald.

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid efter behov således, at alt shredderaffald behandles

### 3.4 Output under besøget

Processens output er jern og ikke-jern-metaller samt restprodukt, som indtil videre deponeres i specialdepot.

## 4. Kritiske delprocesser og driftsparametre

Der må på grund af shredderaffaldets sammensætning og indhold af især glas og metaller forventes en vis slidtage på neddelingsaggregater, men egentlig kritiske delprocesser kan man ikke tale om.

## 5. Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

Anlægget er i dag placeret i et telt, men vil i sin endelige udformning blive placeret i en lukket hal med ventilation og filtrering af luften. Der vil derfor ikke forekomme nogen emissioner til luften af miljømæssig betydning.

### 5.2 Spildevandsudledning

Der er ingen spildevand fra processen.

### 5.3 Støj

Det vurderes, at der ikke vil være nogen problemer med overholdelse af støjkrav.

### 5.4 Lugt

Der er ingen lugtgener fra anlægget.

### 5.5 Affaldsproduktion

Restproduktet er shredderaffald, der stort set er befriet for frie metaller.

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvelastning

Alle støvende delprocesser (neddeling, sigtning sortering mv.) foregår i lukkede systemer med afsugning.

### 6.2 Internt støjniveau

Det interne støj-niveau var lavt og vil med stor sandsynlighed overholde de danske krav. Driftspersonalet har normalt ingen arbejdsopgaver i nærheden af de mest støjende delprocesser. Når eller hvis inspektion er nødvendigt, må høreværn anbefales.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Under normale driftsforhold skønnes det ikke at være nødvendigt at foranstalte særlig beskyttelse af driftspersonalet mod tungmetalbelastning, dels på grund af et lavt støvniveau og dels på grund af, at der ikke er faste arbejdspladser i nærheden af de mest støvende delprocesser.

Under reparations- og rengøringsarbejde vil det nok være fornuftigt at kræve åndedrætsværn. Vi har dog ikke under det korte besøg kunnet danne os en mening om disse forhold

## 7. Beskrivelse af input og output

Input til processen er shredderaffald fra shredder anlægget og synke/flyde-separationsanlægget hos H. J. Hansen.

Analysen af inputtet antages at være som beskrevet Tabel 1, som er identisk med Tabel 1 i dette projekts fase 1.

Tabel 1. Sammensætning af shredderaffald

Komponent	DK 1996
Fe	13,2 %
Al	2,5%
Zn	1,9%
Cu	1,2%
Pb	0,35%
Ni	0,04%
Sn	0,01%
Cr	0,04%
Cd	0,004%
Metal	19,2%
Cl	2,0%
Vand	Ca. 10%
Brændværdi	13,9 MJ/kg

Af de 19,2% metaller i dette affald anslås ca. 5% at foreligge som oxider og ca. 14,2% foreligger som frie metaller.

Outputtet efter raffineringsanlægget indeholder 1 – 2 % frie metaller. Senest opnåede resultater har vist, at frie metaller udgør 1,08%

### 7.1 Metaller

De udsorterede metaller kan sælges til genbrug.

## 8. Økonomi

### 8.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Udgifterne til etablering af anlægget er ikke oplyst til os og er svære at estimere.

### 8.2 Omkostningsstruktur

Nedenstående forudsætninger og data er vort bedste skøn, idet H. J. Hansen ikke har ønsket at give os oplysninger om disse forhold.

Anlægsstørrelse:	> 20 tons SHR/h	>100.000 t/år
Investeringer:	Ca. 20.000.000 DKK.	
Rentefod:	7% p.a.	
Afskrivningstid:	7 år.	

#### **Driftsomkostninger**

Løn til personale:	300.000 DKK/år.	6 personer
Elektricitet:	390 DKK/MWh	700 MWh/år.
Vedligehold:	ca. 5% af investering	

#### **Skønnede behandlingsomkostninger**

De endelige behandlingsomkostninger vil være særdeles afhængige af den pris, man kan få for de genvundne metaller, som ikke er medtaget i denne beregning, men de direkte behandlingsomkostninger inkl. kapitalomkostninger er med de nævnte forudsætninger ca. 72 DKK/t shredderaffald. Heri er ikke medtaget de sparede omkostninger til deponering af restaffaldet, ligesom salgspriser for de genvundne metaller ikke er medtaget.

## 9. Konklusioner og anbefalinger

### 9.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

H. J. Hansens koncept anvendes på den danske affaldsstruktur og må naturligvis anses for at være særdeles velegnet hertil. Det skal dog bemærkes, at anlægget er under fortsat udvikling. Man forventer således, at en del glas og en dels plast fremover vil kunne genvindes fra raffineringsanlægget.

Den fremtidige udvikling vil bl.a. omfatte rysteborde til yderligere metalgenvinding.

### 9.2 Affaldets udnyttelsesgrad

Anlægget er i fuld kommerciel drift og genvinder stort set alle frie metaller fra shredderaffaldet. Dette gør, at restaffaldet vil være velegnet som indsatsmateriale i alle tilgængelige termiske teknologier, der er egnet til behandling af shredderaffald.

### 9.3 Miljømæssige problemstillinger

Ingen væsentlige.

### 9.4 Muligheder for know-how-formidling

H. J. Hansen Recycling Industry Ltd.  
Att.: Produktionsdirektør Erling Møller Nielsen  
Havnegade 110  
5100 Odense C

Telefon: 63 10 91 00  
E-mail: [genvinding@hjhansen.dk](mailto:genvinding@hjhansen.dk)



# Logbog for besøg hos Högdalenverket

## Indhold

1	GENERELLE OPLYSNINGER	110
2	KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	112
3	OBSERVATIONER UNDER BESØGET	115
4	KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	117
5	MILJØMÆSSIGE FORHOLD	118
6	ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	119
7	BESKRIVELSE AF INPUT	120
8	BESKRIVELSE AF OUTPUT	122
9	ØKONOMI	125
10	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	126

# 1 Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Forbrænding i cirkulerende fluid bed med produktion af damp til kraft/varme produktion

## 1.2 Tilført affald

Det tilførte affald består af en blandet neddelt affaldsfraktion fra husholdninger og virksomheder med et stort indhold af neddelt bygningsaffald.

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### **Licenshaver**

Foster Wheeler Energia Oy  
Finland

### **Kontaktperson**

Foster Wheeler Energia Oy  
Att. Timo Anttikoski  
Nuijamiestentie 3  
FIN-0040 Helsinki  
Finland  
Telefon: 358-10-39311  
Fax: 358-10-393-6162  
E-mail: timo.anttikoski@fwfin.fwc.com

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

Birka service  
Göran Eidensten  
Telefon: +46 -8-619-47-00

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Högdalenverket  
Kvicksundsvägen 16  
Högdalen

## 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

Virksomheden producerer kraftvarme til Stockholm

### 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

Linie 6 har en kapacitet på 91,2 MWh svarende til ca. 25 ton neddelte bygningsskrot per time eller 200.000 t/år ved 8000 driftstimer

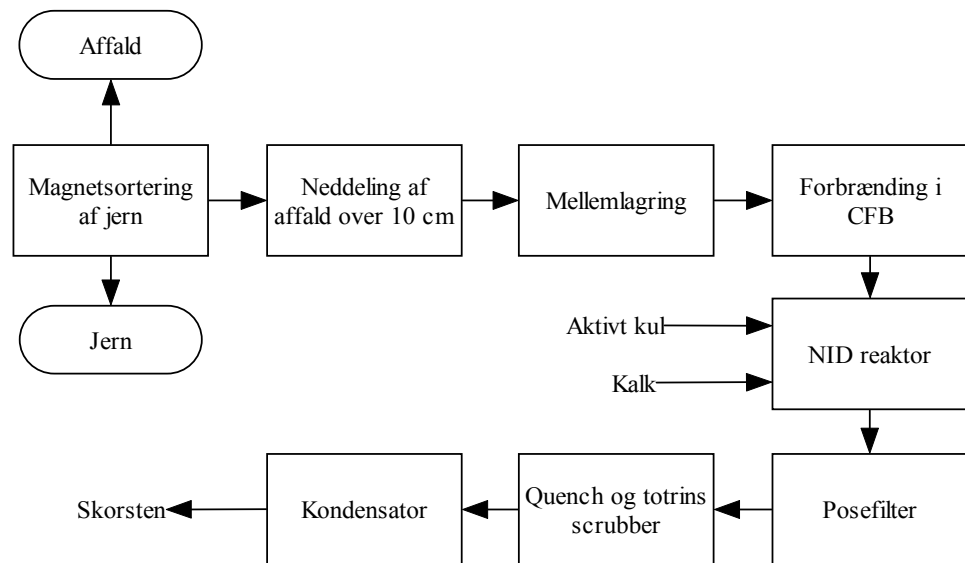
### 1.8 Byggeår og status for projektet

Anlægget har været i kommerciel drift siden starten af 2000, men der foregår stadig en optimering med henblik på at mindske driftsstop. Anlægget har per 1. august 2002 haft mere end 15.000 driftstimer.

## 2 Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

Under besøget blev anlægget kortlagt som vist i Figur 1:



Figur 1. Procesdiagram for Högdalenverket.

### 2.2 Affald

Det tilførte affald består af en blandet neddelte affaldsfraktion fra husholdninger og virksomheder. Affaldet stammer fra savværker, emballageproduktion, papir og pap rester, træholdigt byggeaffald, træaffald, kildesorteret træ og papiraffald, centralt sorteret træ og papiraffald

Det træholdige byggeaffald kaldes også "Returbrændsel" og er en blanding af papir, træ, plast, gummi, tekstil, metaller mm.

Affaldet modtages fortrinsvis neddelte til under 10 cm. En mindre del neddeles af værket selv.

Sammensætningen af "Returbrændsel" varierer men overholder data i Tabel 1.

Tabel 1. "returbrændsel".

Materiale	% (w/w)
Papir	< 90
Træ	20 - 90
Plast	< 20
Gummi	< 5
Tekstil	< 5
Øvrigt brændbart	< 5
Metaller	< 5
Øvrigt ubrændbart	< 10
Aluminium	< 0,25

### 2.3 Forbehandling

Affald med indhold af jern magnetsorteres hvorefter affaldet passerer et sold hvor det der er over 10 cm føres retur til neddeling. Større træaffald som pal-ler etc. neddeles ligeledes til < 10 cm. Affaldet føres til 2 stk. 4000 m<sup>3</sup> lager-bunkere. Brændsel føres herfra til en yderligere magnetseparator (overbånds-magnet) til 3 mellemsiloer.

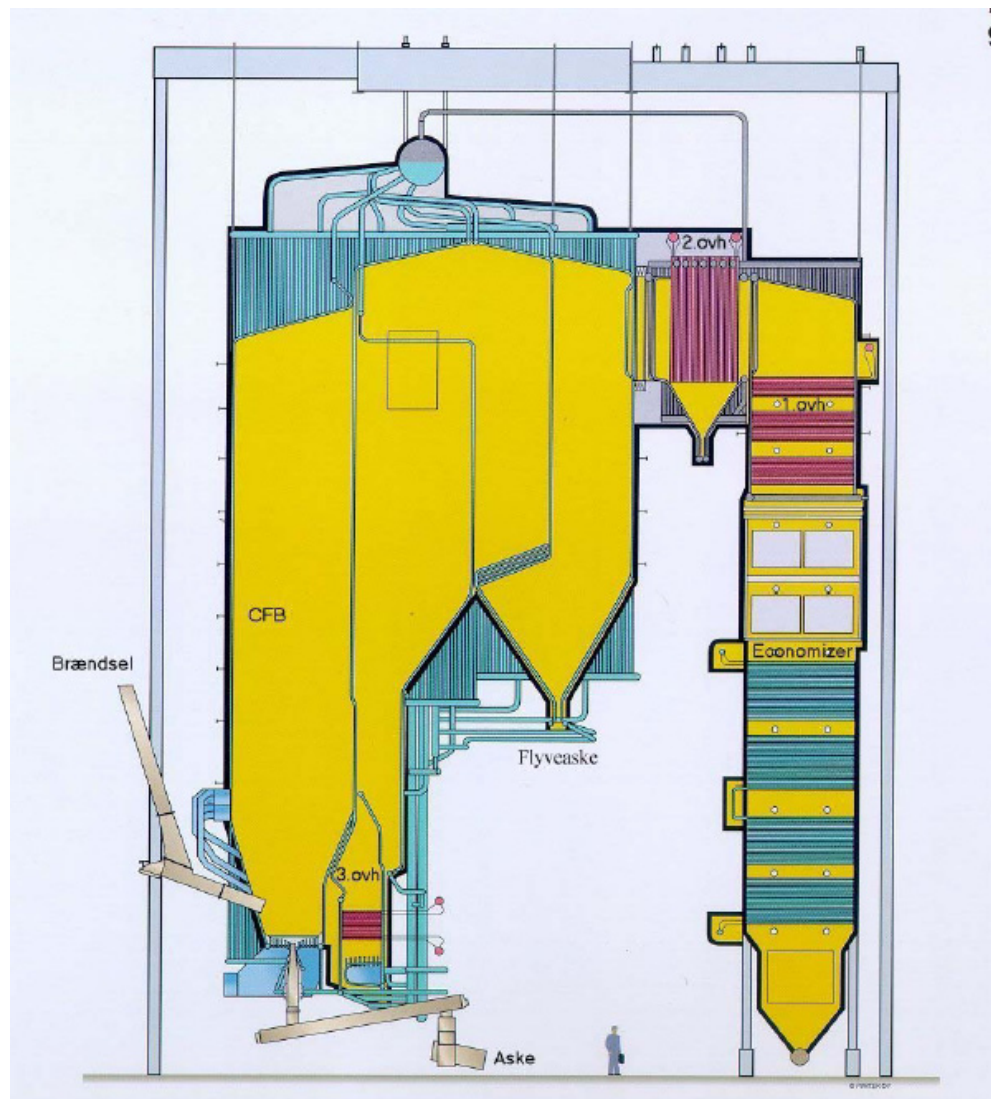
### 2.4 Cirkulerende fluid-bed

Affaldet tilføres fra mellemsiloer til den cirkulerende fluidbed via tre parallelle indfødningsystemer. På transportorbåndet er placeret et justerbart overløb der fyldes op hvorefter der indføres et ønsket volumen pr. tid ved at variere båndhastigheden.

Fluid-breddens bundareal er 3\*8 m. I bunden er placeret dyser som blæser luft mod midten af fluid-bedden. Dysernes placering falder ind mod midten hvor de tre askeudtag findes. Der er problemer med slid og korrosion af dy-serne. I fluid-bedden cirkulerer 40 tons sand med en diameter på 0,78 mm. Fluid-bedden forbrænder ved 850°C med ca. 5% ilt i den producerede røggas og sandet recirkuleres via cyklonkammeret i toppen (se Figur 2). Der benyttes recirkuleret røggas fra efter sugetræksblæser som til temperaturstyringen.

I cyklonkammeret doseres ammoniak til reduktion af NO<sub>x</sub>. I bunden af cy-klonkammeret passerer røggassen den 3. die overheder i en lille boblende fluid-bed. Røggassen ledes efter passage af 2. overheder, 1. overheder og økonomiser til røggasrensingsanlægget. Ved 2. overheder renses for belægninger med hamre mens der ved 1. overheder benyttes damprensning.

Der produceres damp ved 59 bar, 480 °C fra 3. overheder.



Figur 2. CFB anlægget på Högdalenverket.

## 2.5 Røggasrensning

Røggassen renses først ved dosering af kalk og aktivt kulstof i en NID reaktor med efterfølgende fjernelse af røggasrenseproduktet i posefilter ved 140 °C. Røggassen bratkøles herefter til 60 °C og vaskes i en vådvasker med surt trin og neutralt trin. Efter et dråbefang kondenseres vandet ud af røggassen til ca. 40 °C hvorefter røggassen genopvarmes til 60 °C og ledes til skorsten. Vandet fra kondenseringen renses ved tilsætning af natriumsulfat og fældning i to trin, behandling i sandfilter og ved behandling med brintperoxid.

## 2.6 Energiproduktion

Der var under besøget ved at blive idriftsat en turbine/generator som producerer strøm fra fluid-beddens 59 bar damp på primærkredsen, samt udnytter dampen på 36 bar fra de eksisterende ristebaserede linier i sekundærkredsen. Når der ikke produceres strøm produceres fjernvarme af al energien til Stockholms fjernvarmenet.

## 3 Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 24/4 2002 fra kl. 10:00 til kl. 14:30.

### 3.2 Indsatsmaterialer behandlet under besøget

Type: Normal blanding hvoraf en stor del er neddelt træholdigt byggeaffald "returbrændsel".  
 Mængde i t/h: 25 t/h eller 3.000 m<sup>3</sup>/døgn  
 Kapacitetsudnyttelse: 100 %

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid: 24 h/døgn  
 Forventet produktionstid: 8.000 h/år  
 Revisioner: Planlagt til 4 uger+ 1 lille inspektionsstop af 3 dage pr. år  
 For nuværende kræves et stop hver 6. uge men dette er under forbedring.

### 3.4 Output under besøget

Metaller og restprodukter fra anlægget blev kort besigtiget. Besøget var for kort til at kunne give en beskrivelse af produktionsmængderne men typiske mængder er vist i Tabel 2.

Tabel 2. Restprodukter fra CFB anlægget

Fraktion	Mængde	Behandling
Bundaske	Alle partikler > 1-2 mm	Deponeres
Flyveaske	12 ton/dag	En del deponeres og en del recirkuleres til CFB
Røggasrenseprodukt fra posefilter	12 ton/dag	Stabiliseres og deponeres derefter
Restprodukt fra skrubber surt trin		Behandles i eksisterende risteforbrændingsanlæg
Restprodukt fra skrubber neutralt trin		Anvendes til opløsning af kalk i NID reaktor
Renset vand fra kondensering		Til afløb
Metaller	Ca. 15 m <sup>3</sup> /døgn med ca. 50% (v/v) plast mm.	Genvindingsindustri

**El/varme**

Den termiske virkningsgrad er opgivet til 91% ved brændsel med en nedre brændværdi på 13 MJ/kg, men kendes normalt ikke grundet manglende kendskab til brændværdien i affaldet.

El virkningsgraden med den nye turbine/generator er endnu ikke kendt.



## 4 Kritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget blev følgende spørgsmål diskuteret:

1. **Er der forekomst af kondenserbare stoffer og forureninger i processernes forskellige trin; fx af tjære, sod, metaller, salte og oxider i pyrolyseovnens top, i gaskanaler eller i efterforbrændingskamre?**

Der er problemer med afsætninger på panelvægge inden anden overheder. Der arbejdes med påbygning af rensningssystemer til dette. I de tre overhedere og økonomiseren er der ingen problemer.

Der forekommer korrosion og slid af dyser i Fluid-bedden.

Indfødningssluserne blokeres af og til af metaller ikke magnetiske metaller som rustfrit stål og aluminium

2. **Hvordan kontrolleres mængden af kondenserede stoffer, dvs. hvordan renses de kritiske procesafsnit for afsætninger?**

I økonomiseren er rensning ikke nødvendig. 1. overheder renses med damp, anden overheder renses med hamre og for tredje overheder er rensning ikke nødvendig.

3. **Hvilken kemisk stabilitet har restprodukter fra processen? Er de lagrings-stabile mht. tungmetaller og dermed egnet til deponering (data for standardudvaskningstests), eller lækker der tungmetaller, og skal de betragtes som miljøfarligt affald?**

Data haves ikke.

4. **Findes der dioxiner (eller andre halogenerede organiske stoffer) i restprodukter eller evt. mellemprodukter som skal oparbejdes andetsteds?**

Bundasken er næsten 100% udbændt og forventes at have et lavt dioxin-indhold.

Flyveaske og røggasrenseproduktet fra posefiltret vil formentlig indeholde en vis mængde dioxiner.

# 5 Miljømæssige forhold

## 5.1 Emissioner til luften

Tabel 3. Emissioner til luft.

Stof	Målt/garanti (11% O <sub>2</sub> )	EU-krav (11% O <sub>2</sub> , tør gas)
	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>
SO <sub>x</sub>	Virkede ikke under besøg	50
NO <sub>x</sub>	45	200
HCl	Virkede ikke under besøg	10
CO	Virkede ikke under besøg	50
Støv	0,5	10
	<i>ng-TEQ/m<sup>3</sup></i>	<i>ng-TEQ/m<sup>3</sup></i>
Dioxiner	Måles ikke	0,1

## 5.2 Spildevandsudledning

Der udledes rensed spildevand til afløb. Rensningen er ikke optimal og der har været problemer med overholdelse af emissionstilladelser. Dette har dog intet med fluid-bed teknologien at gøre men er blot udslag af et lidt forkert design af rensningsanlægget.

## 5.3 Støj

Støjniveauet er normalt for denne type anlæg.

## 5.4 Lugt

Der er ikke observeret lugtproblemer

## 5.5 Affaldsproduktion

De væsentligste affaldsprodukter er røggasrenseproduktet fra posefiltret samt flyveasken som formodes at indeholde hovedparten af dioxiner

## 5.6 Samlet dioxinmission

Kendes ikke

## 6 Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Der konstateredes en del støv på anlægget pga. manglende rengøring herunder i brændselslagre, hvor neddeling og transport af brændsler foregår uden udsugning. Generelt foregår al brændselstransport i lukkede rør, men nogle steder forekommer utætheder.

Hvis et lignende anlæg skal behandle imprægneret affaldstræ, skal anlægget derfor udstyres med meget effektive støv-begrænsende foranstaltninger herunder afskærmning, afsugning mv., så driftspersonale kan undgå kontakt med både støv fra neddeling og transport af brændsel og med restprodukter.

### 6.2 Internt støjniveau

Støjniveauet vurderes som normalt for denne type anlæg. Turbine findes i separat rum hvor der kræves høreværn.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Støvet fra brændslet kan medføre eksponering for metaller men også andre skadelige stoffer fra neddeling af byggematerialer. Dette kan dog løses med et bedre brændselstransportsystem og er et problem som ikke vedrører kernekemiknologien –den cirkulerende fluid bed.

### 6.4 Dioxinbelastning

Dioxiner forventes kun at forekommer i restprodukter fra posefiltre, samt flyveaske der håndteres i lukkede systemer og således ikke udgør en risiko.

### 6.5 Andet; fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Forventes at være sammenligneligt med tilsvarende arbejde ved traditionelle forbrændingsanlæg

## 7 Beskrivelse af input

Det typiske brændsel er neddelte byggeaffald af sammensætning som i Tabel 2.1.

Det neddelte bygningsaffald er vist på Figur 3 og Figur 4.



Figur 3 Neddelte bygningsaffald som tilføres CFB anlægget (Iagerkapacitet)



Figur 4. Neddel t bygningsaffald som til føres CFB anlægget (detaljer).

Der behandles endvidere forsøgsvis en række andre brændsler. På Figur 5 er således vist blandet plastaffald fra det tyske DSD-system som er presset til piller.



Figur 5 plastpiller fra DSD-systemet i Tyskland

Fluid-bedden må tilføres 10 t frisk sand pr. døgn

## 8 Beskrivelse af output

Besøget var for kort til en detaljeret beskrivelse af outputs.

### 8.1 Kraft/varme

Der produceres damp ved 59 bar, 480 °C som leverer varme til fjernvarmenettet i Stockholm. Prøvedrift er påbegyndt af turbine/generator til elproduktion.

### 8.2 Metaller

Metaller fra magnetsortering af det tilførte brændsel er vist på Figur 6





Figur 6 Metaller

### 8.3 Restprodukter

Bundasken er vist på Figur 7.



Figur 7. Bundaske fra Högdalenverket.

Der forventes et meget lavt kulstofindhold i bundasken grundet den gode udbrænding, men data haves ikke.

Flyveasken er vist på Figur 8.



Figur 8. Flyveaske fra Högdalenverket.



## 9 Økonomi

### 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Det har ikke været muligt at indhente detaljerede oplysninger om økonomien. Investeringen er dog opgivet til 600 mio. SEK for et komplet anlæg uden turbine/generator

Dette svarer til ca. 470 mio. DKK Investeringen vurderes som væsentligt mindre end for tilsvarende ristebaserede anlæg med samme kapacitet.

Hvis et tilsvarende anlæg skal behandle CCA-imprægneret affaldstræ, vil investeringen anlægget skulle omfatte udstyr, der sikrer mod støvemission og kontakt med restprodukterne.

### 9.2 Driftsudgifter

Udgifter til drift og vedligehold forventes at være lidt højere end ved ristebaserede anlæg bl.a. grundet et sandforbrug på 10 t/døgn, samt ekstra mandskab til løsning af nuværende problemer med stop i brændselstransportsystemet.

Udgift til sand udgør 1.000 DKK/t + deponeringsudgifter anslået 500 DKK/t.

Da der indføres 600 t affald per dag svarer dette til 25 DKK/t tilført affald, så denne udgift er begrænset.

# 10 Konklusioner og anbefalinger

## 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Anlægget er designet til brændsel med en høj brændværdi som fx træflis. Hvis store mængder af sådant affald ønskes behandlet er denne type anlæg en mulig løsning med en høj virkningsgrad. Man kunne fx tænke sig en sådan løsning til behandling af imprægneret træ hvor restprodukterne fra affaldet opsamles og evt. viderebehandles med henblik på udvinding af metaller eller stabilisering af miljøfarlige stoffer som arsen. Det vides dog ikke om røggasrensingsanlægget er tilstrækkeligt til at kunne håndtere arsen.

Hvis et tilsvarende anlæg skal behandle CCA-imprægneret affaldstræ, vil den store mængde nedslidte sand være forurenset med As, som derfor skal behandles som specialaffald i forbindelse med deponering. Det høje sandforbrug er en ulempe ved processen.

## 10.2 Omkostningsstruktur

Der findes ikke tilstrækkelige data til en total økonomisk analyse men kapitalomkostningerne, der typisk udgør omkring 60-70% af omkostningerne til store anlæg, er noget lavere for dette fluid-bed-anlæg end for ristebaserede forbrændingsanlæg. Det skal her bemærkes, at anlægget i modsætning til ristebaserede anlæg kræver en neddeling af det tilførte affald, og at det nuværende forbehandlingssystem ikke er egnet til fugtige materialer som organisk affald eller CCA-imprægneret affaldstræ.

Et fluid bed anlæg, der skal behandle imprægneret affaldstræ, vil kræve en investering i et passende neddelingsudstyr, der sikrer mod emission af tungmetalholdigt støv.

## 10.3 Affaldets udnyttelsesgrad

Anlægget har en høj termisk virkningsgrad. Jernbaserede metaller fjernes fra det neddelte affald inden indfødning og genvindes i en god kvalitet. Det vurderes muligt også at fjerne eventuelle ikke-jernbaserede metaller som aluminium og kobber.

## 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Anlægget opnår en højere udbrænding af bundasken end den tilsvarende slagge fra ristefyrede anlæg hvilket kan have betydning for udvaskning af skadelige stoffer. Imidlertid deponeres bundasken ligesom alle andre restprodukter deponeres. Det vides ikke om bundasken vil kunne genanvendes eller evt. oparbejdes så den kan genanvendes.

## 10.5 Muligheder for knowhow-formidling

Knowhow-formidling kan ske ved henvendelse til Foster-wheeler.



# Logbog for besøg hos Igelstaverket, Söderenergi

## Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	130
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	132
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	136
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	138
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	140
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	142
7. BESKRIVELSE AF INPUT	143
8. BESKRIVELSE AF OUTPUT	146
9. ØKONOMI	147
10. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	148

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Fluid bed forbrænding – boblende bed.

## 1.2 Tilført affald

- Træaffald
- Nedrivningsaffald
- Creosot-impregneret træ
- Plastaffald (ikke PVC) (forsøgsvis er kørt RDF m. 25% PVC)
- Papir
- Tørv
- Olie

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### Licenshaver

Foster Wheeler Energia Oy  
Finland

### Kontaktperson

Foster Wheeler Energia Oy  
Att. Timo Anttikoski  
Nuijamiestentie 3  
FIN-0040 Helsinki  
Finland

Tlf.: 358-10-39311  
Fax: 358-10-393-6162  
E-mail: [timo.anttikoski@fwfin.fwc.com](mailto:timo.anttikoski@fwfin.fwc.com)

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

Tre kommuner nær Södertälje har dannet Söderenergi, der ejer Igelstaverket.

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Igelsatverket  
Nynäsvägen 43  
S-152 07 Södertälje  
Sverige

Kontaktperson: Driftsingeniør Sven Wallin.

### 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

Fjernvarmeproduktion med minimal påvirkning af miljøet baseret på affaldsprodukter.

### 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

Kedel 3:

Varme:	max. 90	MW,
Brændsel	25-30	t/h
Brændværdi:	ca. 11	MJ/kg

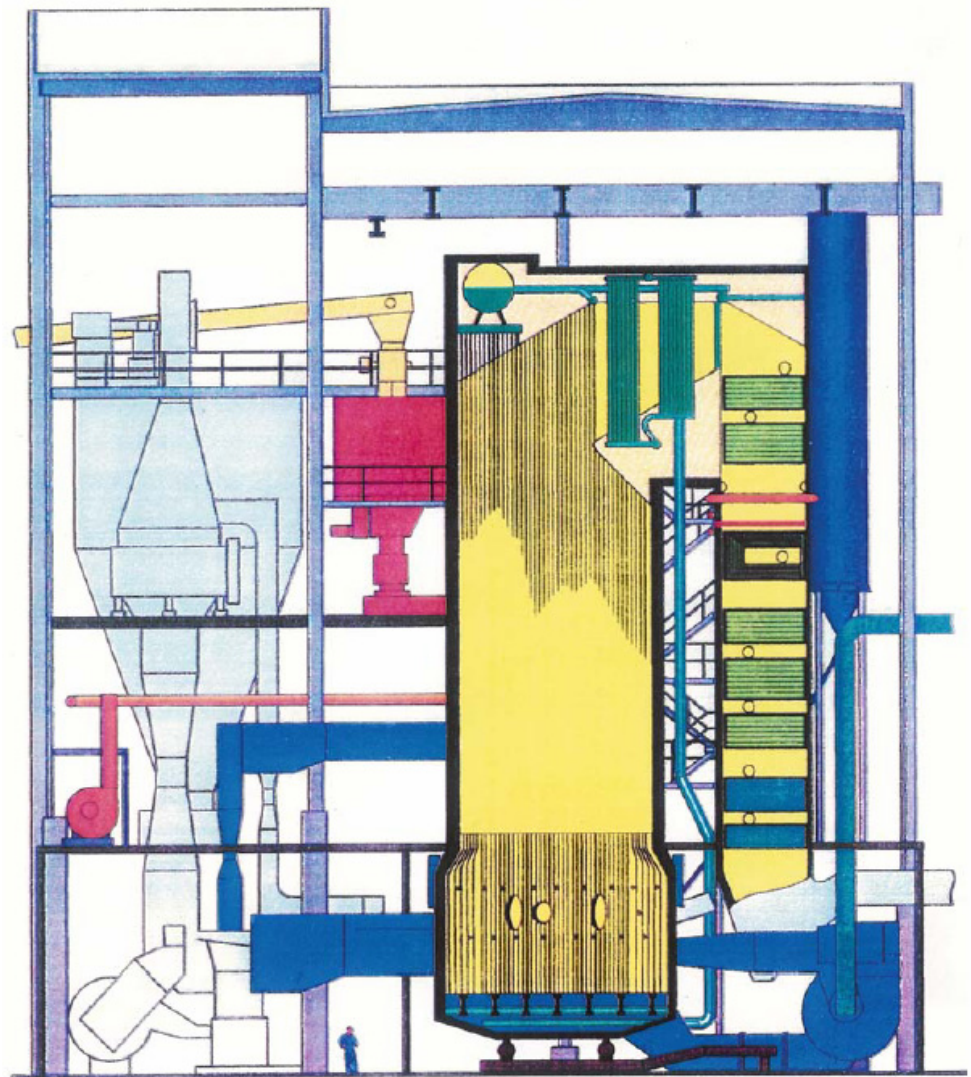
### 1.8 Byggeår og status for projektet

Iglestaverket blevet bygget i 1980 og producerer fjernvarme til de omliggende kommuner (40%) og Stockholm (60%). Værket har tre kedler, hvoraf kun kedel 3 er en fluid bed. Kedel 3 er oprindeligt bygget til kulfyring, men blev i 1994 ombygget af Alstom, så anlægget kunne forbrænde fugtig træflis. Kedlens oprindelige konvektionspart er bevaret.

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

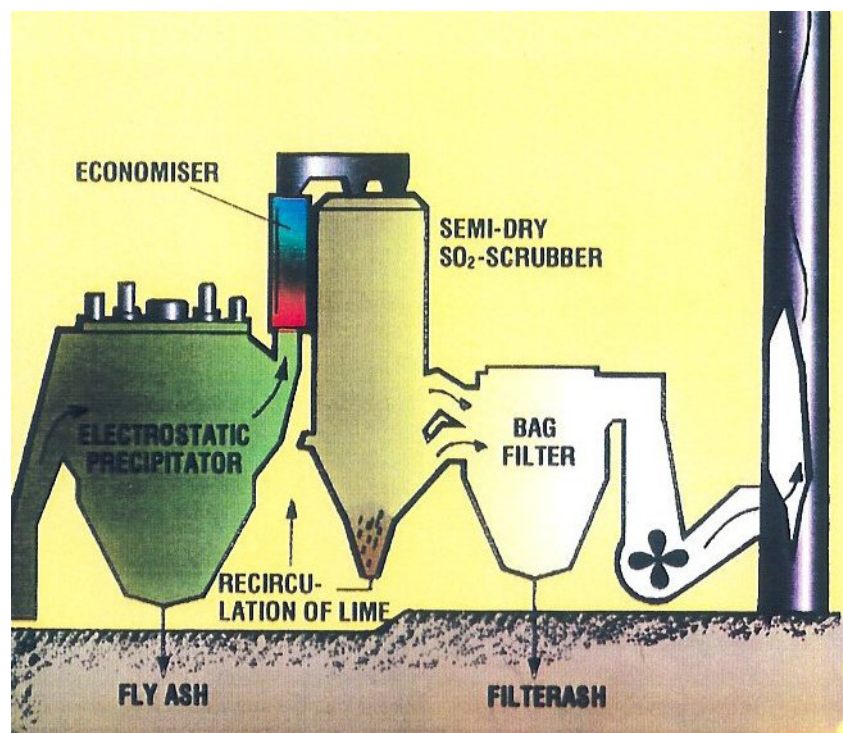
Kedel 3 er en boblende fluid bed bygget af Foster Wheeler i Finland.



Figur 1. Skitse af Igel staverkets fluid bed kedel (90 MW<sub>t</sub>) med hedel flader, etc.

De tre kedler har fælles røggasrensningssystem, som er vist i Figur 2.





Figur 2. Røggasrensningsystem på Igelstaverket

Alle kedler har desuden separate SNCR NO<sub>x</sub>-rensningsanlæg i selve kedlen.

## 2.2 Affald

Kedlen fyres med

"Returflis" (nedrivningstræ):	86%
Maskintørvt:	11%
Fuelolie:	3%

men også papir og creosot-imprægneret træ indgår. Flere af affaldsstrømmene har et højt indhold af klor (Cl). Det er nødvendigt at fyre med tørvt for at undgå korrosion.

Anlægget fyres ikke med skovflis.

Der er kørt forsøg med hollandske RDF-piller med max. 25% PVC.

Brændselsanalyser fra d. 2002-04-18 viser store variationer i brændslets sammensætning. Se Tabel 2.

## 2.3 Forbehandling

Alt brændsel neddeles til en størrelse på ca. 2 x 2 x 5 cm. Brændselsstykker må højst være 5 x 5 x 30 cm store.

En overbåndsmagnet fjerner jern-metaller før indfyringen.

## 2.4 Proces(er)

### 2.4.1 Fluid bed

Kedel 3 er en boblende fluid bed med følgende data:

Areal (kvadratisk)	49	m <sup>2</sup>
Bund	Flad/vandret	-
Højden af fluidiseret lag	1-2	m
Fluidiseringsluft	14	m <sup>3</sup> /s
Sand	48	t
Indfødningspunkter	4	-
$T_{\text{bed}}$	850	°C
Luftoverskud	3,5 - 5	% O <sub>2</sub>

Brændslet indfyres via fire skruefødere placeret over det fluidiserede lag.



Figur 3. Tre af de fire skruefødere til igelstaverkets kedel 3.

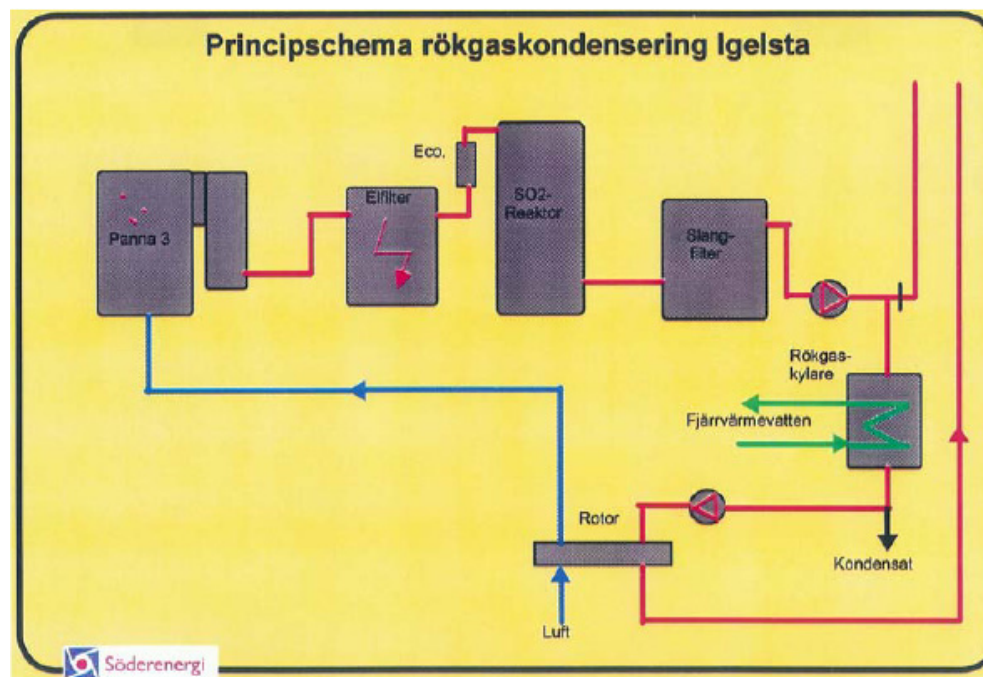
Temperaturen i bedden reguleres ved hjælp af røggasrecirkulation og damptilførsel.

Aske og sand tages seks steder i bunden. Sandet sigtes og metaller fjernes inden de ca. 40 t sand recirkuleres pr. dag, og 5-6 t pr. dag nyt sand spædes til.

## 2.5 Røggasrensning

NO<sub>x</sub> reduceres ved indspøjtning af ammoniak (NH<sub>3</sub>) i fribordet på fluidbedden (SNCR-proces).

For at få en høj virkningsgrad gennem røggaskondensation opfugtes forbrændings- og fluidiseringsluften ved hjælp af røggassen i et system, der er vist i Figur 4.



Figur 4. Principskitse for røggaskondensering og opfugtning af forbrændingsluft.

Røggastemperaturen efter de enkelte trin i røggasrensningen er:

El-filter:	170	°C
ECO:	150	°C
SO <sub>2</sub> -scrubber:	115	°C
Posefilter:	100-110	°C
Roterende luftbefugter:	ca. 30	°C

Skorstensrøret er af plast-materiale på grund af risiko for kondensation.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-04-23 fra kl. 10:30 til kl. 15.

### 3.2 Tilførte materialer behandlet under besøget

Type (kvalitativ beskrivelse):	Bygningsaffald:	65%
	Tørv:	10%
	RDF:	25%
Mængde i t/h:	ca. 20 t/h	
Kapacitetsudnyttelse:	66 %	

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid:	24 h/døgn
Forventet produktionstid:	7 måneder/år <sup>1</sup>
Revisioner:	2-3 pr. år

### 3.4 Output under besøget

#### 3.4.1 El/varme

Leveret varme:	ca. 60 MW
Virkningsgrad:	108%

Kedlen producerer damp ved 14 bar og 200 °C. **Dampen varmeveksles med fjernvarmevand.**

Ved fuld last producerer kedel 3 90 MW, hvoraf ca. 20 MW kommer fra kondensation.

#### 3.4.2 Restprodukter

Ved fuldlast med normal brændselssammensætning producerer anlægget følgende restprodukter:

Bundaske (minerale, skrot):	10 t/d
Flyveaske (el-filter):	0,45 t/d
Restprodukt fra posefilter:	36-48 t/d
Kondensat:	Opkoncentreres og recirkuleres

---

<sup>1</sup> Igelstaverket er en spidslastenhed. Værket forventes at kunne køre 8.000 h/år ved normal drift.

Kondensatet indeholder ca. 200 mg NH<sub>4</sub>/l renses i Reverse Osmosis (RO)-anlæg. Rejectet (15%) indeholder over 1.000 mg NH<sub>4</sub>/l og recirkuleres via SNCR-systemet til kedlen.

Det rensede kondensat udledes til recipienten.

Bundasken sigtes og den fine fraktion (sand) recirkuleres til fluid bed'en. Jern-metaller fjernes fra restfraktionen og afhændes som forbrændingsjern.

Alle andre faste restprodukter deponeres.

## 4. Kritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget blev følgende spørgsmål diskuteret:

1. Er der forekomst af kondenserbare stoffer og forureninger i processernes forskellige trin; fx af tjære, sod, metaller, salte og oxider i pyrolyseovnens top, i gaskanaler eller i efterforbrændingskamre?

Nej.

2. Hvordan kontrolleres mængden af kondenserede stoffer, dvs. hvordan renses de kritiske procesafsnit for afsætninger?

Klor-indholdet i brændslet holdes så lavt som muligt.

Ca. 10% tørv med et svovlindhold på 0,2-0,3% indfyres for at binde klor.

3. Forekommer der recirkulation af materiale i processen, så visse stoffer langsomt kan akkumuleres?

Sand, opkoncentreret ammoniumholdigt kondensat og filtreret røggas recirkuleres.

1. Sandet, der udtages fra bunden af fluid bed'en sigtes og renses for metaller inden det recirkuleres, forventes ikke at medvirke til at akkumulere stoffer.
  2. Kondensatet fra SO<sub>2</sub>-scrubber vil indeholde en del faste stoffer fx tungmetaller inkl. arsen. Efter opkoncentreringen i RO-anlægget vil remanensen stadig indeholde tungmetaller. Der er derfor risiko for at recirkulationen af remanensen til kedlen via SNCR-anlægget kan medvirke til at akkumulere fx arsen i anlægget.
  3. Røggassen renses i scrubber, el-filter og posefilter før den recirkuleres og vil derfor ikke medvirke til akkumulere stoffer i anlægget.
4. Hvilken kemisk stabilitet har restprodukter fra processen? Er de lagrings-stabile mht. tungmetaller og dermed egnet til deponering (data for standardudvaskningstests), eller lækker der tungmetaller, og skal de betragtes som miljøfarligt affald?

Sven Wallin oplyste, at bundasken efter sigtning og fjernelse af magnetiske metaller i en overbåndsmagnet kun indeholder mineraler, der er uproblematisk.

Røggassrensingsproduktet indeholder tungmetaller og andre miljøskadelige stoffer vil i Danmark skulle på specialdeponi.

5. Findes der dioxiner (eller andre halogenerede organiske stoffer) i restprodukter eller evt. mellemprodukter som skal oparbejdes andetsteds?

Dioxin i røggassen er målt én gang og lå da under  $0,1 \text{ ng/Nm}^3$ .

**6. Korrosion og erosion**

Der forekommer ikke korrosion af betydning i anlægget, men på grund af det høje indhold af partikler i røggassen, forekommer der en del erosion i kedlens konvektive træk.

## 5. Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

Stof	Målt (11% O <sub>2</sub> ) døgnmiddelværdi	EU-krav (11% O <sub>2</sub> , tør gas)
	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>
<i>SO<sub>x</sub></i>	<i>0,5</i>	<i>50</i>
<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>&lt; 25</i>	<i>200</i>
<i>HCl</i>	<i>~0</i>	<i>10</i>
<i>CO</i>	<i>45</i>	<i>50</i>
<i>Støv</i>	<i>5</i>	<i>10</i>
	<i>ng-TEQ/m<sup>3</sup></i>	<i>ng-TEQ/m<sup>3</sup></i>
<i>Dioxiner</i>	<i>&lt; 0,01</i>	<i>0,1</i>

Tabel 1. Emissioner til luften fra Iglestaaverket.

Alle de målte emissioner overholder EU's krav. anlægget foretager ikke dioxin-målinger med faste mellemrum. Den viste måling er den eneste, der er foretaget på anlægget.

### 5.2 Spildevandsudledning

Spildevand fra scrubbere renses ved hjælp af RO-teknik til et ammoniumindhold på mindre end 5 mg/l og kan uden problemer udledes direkte til recipienten.

### 5.3 Støj

Normalt for forbrændingsanlæg.

### 5.4 Lugt

En svag lugt af forbrændt tørv vurderes ikke at skabe problemer i forhold til danske regler.

### 5.5 Affaldsproduktion

Intet – alle processer foregår i automatiske, lukkede systemer. Se evt. afsnit 3.4.2 Restprodukter.



#### 5.6 Samlet dioxinmission

Der er kun foretaget en enkelt måling af dioxin-indholdet i røggassen, men ingen i restprodukterne.

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvelastning

Al transport af brændsel, mellemprodukter, produkter og restprodukter sker i lukkede systemer.

Vi bemærkede dog, at der var en del støv i brændselslagrene, hvilket må skyldes utætheder og overtryk i de lukkede transportsystemer.

Hvis et lignende anlæg skal behandle imprægneret affaldstræ, skal anlægget derfor udstyres med meget effektive støv-begrænsende foranstaltninger, så driftspersonale kan undgå kontakt med både støv fra neddeling og transport af brændsel og med restprodukter.

### 6.2 Internt støjniveau

Det interne støj-niveau var lavt og vil med stor sandsynlighed kunne overholde danske krav.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Besøget var for kort til at vi kunne foretage en egentlig analyse. Tungmetaller er normalt bundet i støv og bortset fra forholdene på brændselslageret lå der ikke støv andre steder på værket.

Da brændslet indeholder en del metaller, vil flyveasken fra el-filteret vil sandsynligvis indeholde en del tungmetaller fx Pb, Zn og Cd. Driftspersonalet bør derfor have støvmasker og handsker på, når de arbejder med håndtering af støvende restprodukter.

### 6.4 Dioxinbelastning

Ukendt. Der vil formentlig findes dioxiner i flyveaske fra el-filteret og i røggasrensingsproduktet.

### 6.5 Andet - fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Besøget var for kort til, at vi kunne foretage en detaljeret vurdering.

## 7. Beskrivelse af input

Anlæggets hovedbrændsel (normalt ca. 85%) er "retur-flis", som er nedrivningsaffald mm. På billederne i Figur 5 og Figur 6 kan man se, at brændslet indeholder både metaller, spånplader, malet træ og plastrester.



Figur 5. Fluid bed kedlens hovedbrændsel (ca. 85%), "Returflis", som er neddelte nedrivningsaffald mm.



Figur 6. Nærbillede af "Retur-flis", som indeholder store mængder papir, spånplader, malet træ, metaller og plast (efter sigende uden PVC).

Affaldet passerer en overbåndsmagnet for at fjerne de magnetiske metaller. Herefter indeholder brændslet kun ca. 0,3 % frie metaller.

En analyse af brændselssammensætningen fra marts 2002 viser, at der er store variationer i sammensætningen.

Prøve nr.	Brændsel	Vand % (w/w)	Aske % (w/w)	Brændv. MJ/kg	% (w/w) TS																		
					C	H	N	S	Cl	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
20583	Returflis	32,43	1,90	12,31	49,00	6,00	0,50	0,03	0,02	321	16,7	0,47	1,50	12,0	47	0,24	97	1,40	17,0	0,32	0,02	1,30	372
20584	Returflis	37,91	6,20	10,34	48,70	5,90	0,90	0,08	0,05	1.440	62,3	1,55	2,60	89,3	898	0,20	114	6,90	198,0	2,40	0,03	3,70	1.430
20585	Returflis	38,28	3,30	10,70	49,50	6,00	0,40	0,05	0,05	588	180,0	0,36	0,92	88,9	121	0,06	102	2,30	32,6	1,30	0,02	3,80	406
20586	Returflis	39,08	1,20	11,71	48,10	6,00	0,60	0,04	0,01	243	78,3	0,12	0,52	64,9	60	0,05	96	1,40	9,8	0,53	0,02	1,00	183
20587	Returflis	32,65	3,60	11,21	50,00	5,90	1,20	0,10	0,06	721	16,7	1,46	1,20	20,5	58	0,16	100	2,60	210,0	0,46	0,02	2,20	789
20588	Maskintørsv	43,86	6,20	10,53	56,90	5,30	2,60	0,24	0,02	238	0,4	0,02	0,16	0,7	7	0,02	10	0,06	0,7	0,02	0,02	0,46	3
20589	Maskintørsv	39,85	11,30	10,67	52,20	4,80	2,40	0,36	0,02	1.630	3,9	0,08	0,38	3,8	17	0,03	273	5,10	2,5	0,07	0,02	6,50	15
20590	Returflis	25,63	1,90	13,37	49,80	6,10	0,60	0,03	0,03	211	19,0	0,88	0,46	38,3	36	0,04	84	3,60	14,3	0,26	0,02	0,64	374
20591	Returflis	12,05	4,40	11,84	49,20	6,00	0,30	0,14	0,03	908	26,2	1,47	1,60	24,9	12	0,12	103	5,00	100,0	0,28	0,02	5,00	1.250
20592	Blark/Tørsv	45,78	21,60	7,70	45,50	4,40	0,70	0,05	0,02	1.270	1,6	1,55	1,60	3,5	2.790	0,08	1.280	4,40	26,2	0,50	0,51	4,60	379
20593	Returflis	56,41	2,10	6,95	49,90	6,00	0,10	0,02	0,01	226	3,5	0,32	0,34	6,5	878	0,01	328	1,30	1,6	0,10	0,10	1,00	78
20594	Returflis	28,21	1,60	12,90	50,40	6,00	1,40	0,04	0,02	147	2,2	0,23	0,75	4,4	17	0,04	123	1,50	9,8	0,14	0,02	0,97	175
Maks.		56,41	21,60	13,37	56,90	6,10	2,60	0,36	0,06	1.630	180,0	1,55	2,60	89,3	2.790	0,24	1.280	6,90	210,0	2,40	0,51	6,50	1.430
Middel		37,25	5,48	10,85	49,93	5,70	0,98	0,10	0,03	674	30,7	0,71	1,06	30,3	410	0,09	228	3,08	51,9	0,53	0,07	2,61	518
Min.		25,63	1,20	6,95	45,50	4,40	0,10	0,02	0,01	147	0,4	0,02	0,16	0,65	7	0,01	10	0,06	0,7	0,02	0,02	0,46	3
Var		8,47	3,88	1,91	2,70	0,76	0,80	0,10	0,02	522	40,7	0,62	0,69	33,1	077	0,03	342	1,92	26,0	0,60	0,14	2,04	601
Spredning		0,23	1,07	0,18	0,05	0,10	0,82	1,05	0,58	0,72	1,31	0,87	0,65	1,09	1,88	0,86	1,50	0,62	1,46	1,28	2,01	0,78	1,17

Tabel 2. Brændselanalyse fra igelstaverkets kedel 3 marts 2002.

Brændværdien af brændslet er temmelig konstant – i gennemsnit ca. 11 MJ/kg.

Svovlindholdet er lavt i returflis ca. 0,06 % (w/w) TS, men ca. 5 gange højere i maskintørsv – typisk 0,3 %.

Tungmetalindholdet i returflis er ikke ubetydeligt, specielt Pb og Zn findes koncentrationer på:

Pb: 0,021 % (w/w)

Zn: 0,195 % (w/w)

De høje indhold af Cu og Mn stammer fra bark eller tørv, der også bidrager med et højt indhold af kvælstof.



## 8. Beskrivelse af output

### 8.1 Kraft/varme

Fluid bed kedlen har en termisk virkningsgrad på 89% og med bidraget fra røggaskondensationen bliver den samlede termiske virkningsgrad ca. 108%.

Værket leverer udelukkende fjernvarme til Södertälje og Stockholm.

Prisen for fjernvarme 0,13 SEK/kWh svarende til ca. 0,11 DKK/kWh.

### 8.2 Metaller

Magnetiske metaller fjernes fra bundasken fra FB-kedlen. Anlægget producerer ca. 2 t/d forbrændingsjern, der afhentes af en skrothandler.

### 8.3 Granulat/restprodukt

Anlægget produceret ca. 8 t/d mineralsk restprodukt, der hovedsagelig består af silicium og calcium oxider. Glødetabet er relativt højt ca. 10%. Der foreligger ingen analyse af tungmetalindholdet i restproduktet.



Figur 7. Restprodukt fra el-fil ter efter sigtning og fjernelse af jern-metaller.

Udvaskningsegenskaberne af restproduktet er ikke kendt. Restproduktet deponeres.

## 9. Økonomi

### 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Kedel 3 er som tidligere nævnt ombygget fra kulfyring til fluid bed forbrænding af træaffald. Det er derfor ikke relevant at benytte de økonomiske tal fra dette anlæg til en bedømmelse af behandlingsomkostningerne.

Hvis et tilsvarende anlæg skal behandle CCA-imprægneret affaldstræ, vil investeringen anlægget skulle omfatte udstyr, der sikrer mod støvemission og kontakt med restprodukterne.

# 10. Konklusioner og anbefalinger

## 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Fluid bed anlægget fungerer uden problemer med et affaldsbrændsel, der indeholder ret høje koncentrationer af tungmetaller og klorider, som også findes i CCA-imprægneret affaldstræ.

Vi forventer, at alle tungmetaller (imprægneringssalte og andre tilførte metaller) ender i flyveasken fra el-filteret eller i restproduktet fra røggasreningsprocessen opsamlet i posefiltret. Arsen vil sandsynligvis findes på partikulær form, og en eventuel rest vil blive fanget i SO<sub>2</sub>-scrubberen og RO-remanensen.

Flyveasken vil eventuel kunne oparbejdes, men der foreligger ingen analyser af indholdet restproduktet.

Der bør dog sikres, at remanensen fra RO-anlægget renses for tungmetaller, inden den recirkuleres til kedlen via SNCR-anlægget.

Hvis et lignende anlæg skal behandle CCA-imprægneret affaldstræ vil det efter danske forhold være nødvendigt at stabilisere restprodukter, der indeholder As, Cu og Cr, eller hvis det er muligt at oparbejde Cu og Cr til frie metaller.

## 10.2 Omkostningsstruktur

Omkostningsstrukturen for anlægget er ikke kendt.

Hvis et tilsvarende anlæg skal behandle CCA-imprægneret affaldstræ, vil investeringen anlægget skulle omfatte udstyr, der sikrer mod støvemission og kontakt med restprodukterne.

## 10.3 Affaldets udnyttelsesgrad

Anlægget er i fuld kommerciel drift, men benyttes som spidslastcentral og er derfor kun i drift ca. 7 mdr. om året.

## 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Hvis et tilsvarende anlæg skal behandle CCA-imprægneret affaldstræ, vil det nedslidte sand være forurenede med As, som derfor skal behandles som specialaffald i forbindelse med deponering.

## 10.5 Muligheder for know-how-formidling

Foster Wheeler Energia Oy  
Att. Timo Anttikoski



Nuijamiestentie 3  
FIN-0040 Helsinki  
Finland

Tlf.: 358-10-39311  
Fax: 358-10-393-6162  
E-mail: [timo.anttikoski@fwfin.fwc.com](mailto:timo.anttikoski@fwfin.fwc.com)



## Logbog for besøg hos Organic Power ASA

### Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	152
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	154
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	159
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	160
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	161
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	163
7. BESKRIVELSE AF INPUT	164
8. BESKRIVELSE AF OUTPUT	165
9. ØKONOMI	166
10. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	168

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Forgasning, "tværstrøm" / medstrøm.

## 1.2 Tilført affald

- Industriaffald - papir, plast og pap i baller (Norge).
- Husholdningsaffald med 50% organisk materiale (Sydkorea).
- Forsøgsvis creosot-imprægneret affaldstrø

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### Licenshaver

Organic Power ASA  
Klingenberggaten 7 a  
Pb 1237 Vika  
N 0110 Oslo  
Norge

Kontaktperson:  
Hans Bjerkvig

Telefon: +47 23 11 59 00  
Fax: +47 23 11 59 01  
E-mail: [hans.bjerkvig@organicpower.com](mailto:hans.bjerkvig@organicpower.com)  
Internet: [www.organicpower.com](http://www.organicpower.com)

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

Anlægget på 4 MW<sub>th</sub> er ejet af Lier Fjernvarme.  
Lier Fjernvarme er ejet af Birka Energi and Lier Elektrisitetsverk.

Varmeværket forsyner Osmund Espedal Handelsgartneri med varme.

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Lier Fjernvarme  
Drammen  
Norge

## 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

Organic Power ASA udvikler og markedsfører mindre, modulære og kosteffektive forgasningsanlæg til konvertering af sorteret affald og biomasse til energi. Anlæggene kan køre med et bredt spektrum af brændsler.

Organic Powers standard modul, SK1000, har en kapacitet på ca. 2 MW.

### 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

Lier Fjernvarme består af 2 linier på hver 2 MW<sub>th</sub>.

### 1.8 Byggeår og status for projektet

Organic Power har leveret tre anlæg på kommercielle vilkår:

Tabel 1. Anlæg leveret af Organic Power.

Lokalitet	Status	Effekt	Brændværdi
Boseong City, Sydkorea	Idriftsat juni 2001	1 x 2 MW	5–6 MJ/kg
Lier, Norge	Idriftsat september 2002	2 x 2 MW	ca. 10 MJ/kg
Elverum, Norge	Idriftsættes september 2002	2 x 2 MW	ca. 10 MJ/kg

Alle Organic Powers anlæg i Norge ombygges i øjeblikket, så affaldet neddeles umiddelbart før, det indfyres i forgasseren.

Organic Power har ordre på flere anlæg:

Nakskov, Danmark:	6 x 2 MW
Gyeryong City – South Korea:	1 x 2 MW
Haenam City, South Korea:	1 x 2 MW
NTE - Sundnes Varmesentral, Norge:	1 x 2 MW

Organic Powers udviklingsplaner omfatter test med flere nye affaldstyper:

- CCA-imprægneret affaldstræ
- shredderaffald blendet med andet affald
- industrislam

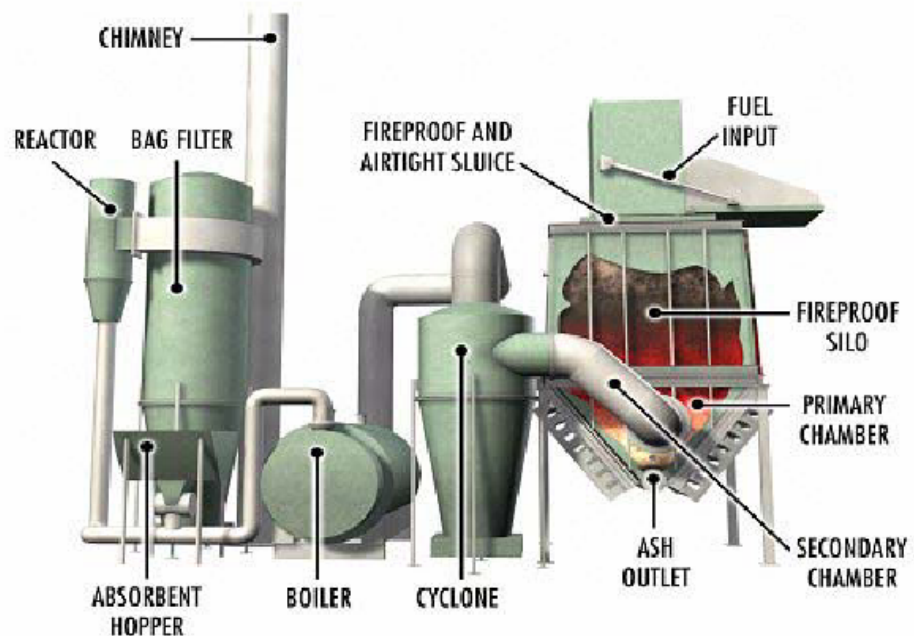
I øjeblikket kan SK1000-modulet operere fra 0,5 – 2,4 MW<sub>th</sub>, men OP forventer, at kunne nå betydeligt højere, når kammerets design og processtyringen optimeres.

*Nakskov Kommune har opsagt sin kontrakt med Organic Power om byggeri af et forgasningsanlæg. Nakskov har varslet en erstatningssag med det resultat, at Organic Power har erklæret sig konkurs d. 2002-10-30.*

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

Organic Powers proces består af et forgasningskammer, der er beskrevet nøjere i afsnit 2.4, et kort sekundærkammer og en varm cyklon, hvor syntesegassen forbrænder inden den ledes til en kedel og et røggasrensningssystem. En del af røggassen recirkuleres efter posefilteret til forgasningskammeret.



### 2.2 Affald

- Sorteret husholdningsaffald
- Industriaffald - plast, pap, papir, mm.

Anlæggenes modtagefaciliteter er typisk beregnet til brændsel, der er presset til baller og pakket i PVC-fri plastfolie (se Figur 7).

Processen kan behandle meget uhomogent affald.

### 2.3 Forbehandling

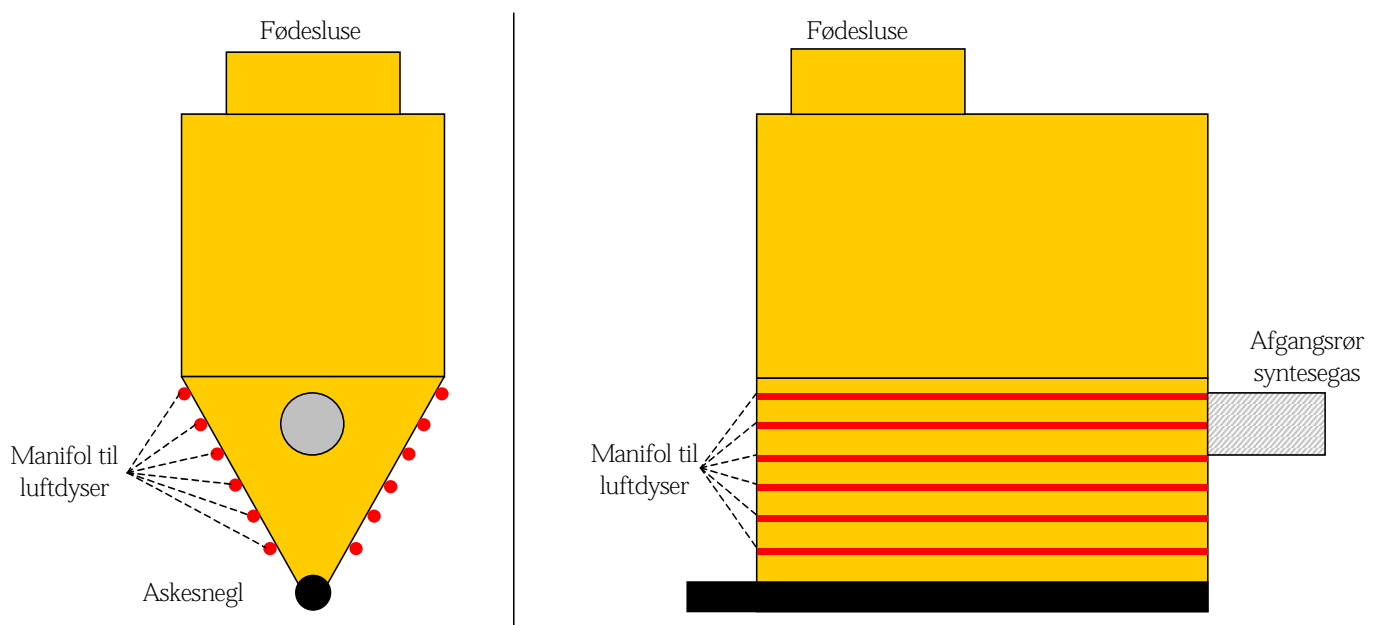
Anlæggene i Norge er oprindeligt designet til, at affaldet indfyres i hele baller, men problemer med ustabile driftsforhold har betydet, at alle tre anlæg nu udbygges med en opriver umiddelbart over indfødningstragten (Figur 1).



Figur 1. Lier Fjernvarme: Indfødningsluse oven på forgasningskammer.

#### 2.4 Proces(ser)

Organic Powers forgasningsproces er oprindeligt udviklet i 1970'erne på en norsk landbrugshøjskole med henblik på at forgasse blandet landsbrugsaffald. Processen sker i et kammer som vist i Figur 2:



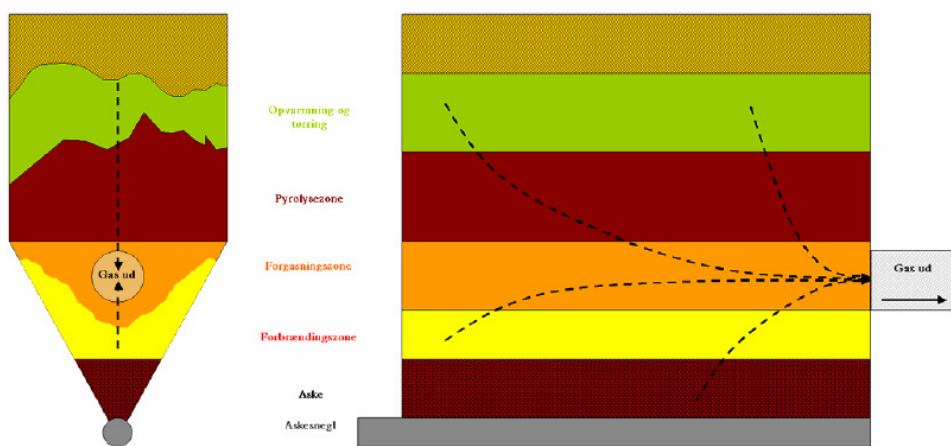
Figur 2. Skitse af Organic Powers forgasningskammer set i to lodrette snit.

Figur 3 viser den virkelige udformning af manifolderne til luftdyserne i bunden af forgasningskammeret.



Figur 3. Manifold til luftdyser i bunden af forgasningskammeret.

Forløbet af den termiske omsætning i forgasseren er vist i Figur 4.



Figur 4. Termiske processer i Organic Powers "tværstrøms-forgasser". De stiplede linier angiver formodede interne gasstrømme.

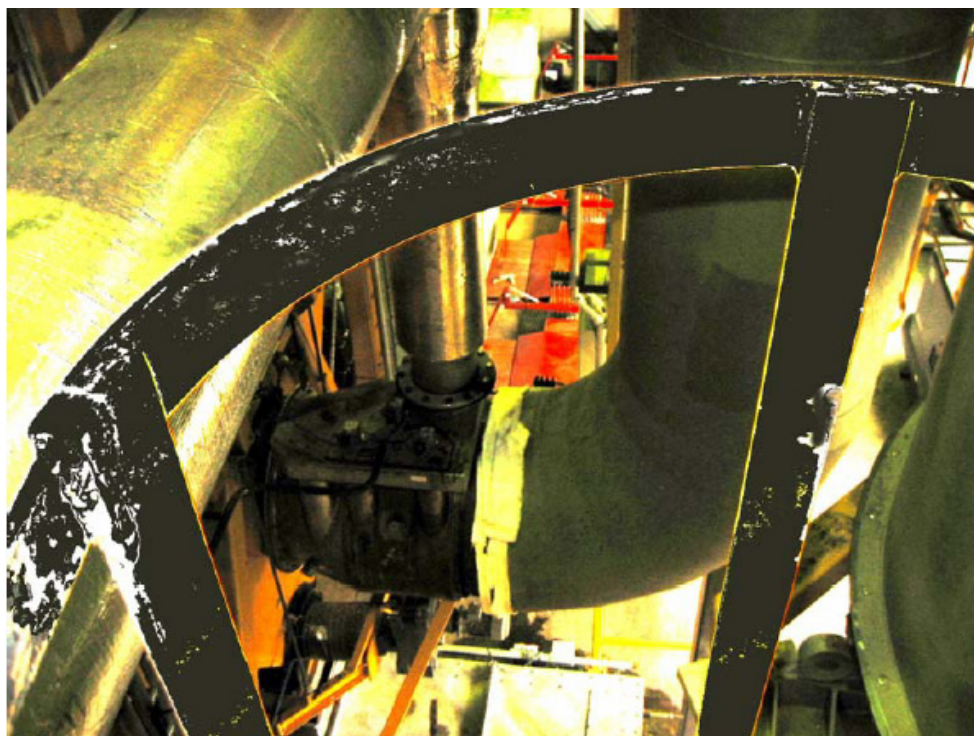
Processen styres med lufttilsætningen i den koniske del af kammeret, så temperaturen i starten af afgangskanalen holdes konstant. Da der ikke nogen styring af lufttilsætningen på langs af kammeret, vil driftsbetingelserne variere i fra den ene til den anden ende. Temperaturen når op på ca. 800 °C i forbrændingszonen.



Det er centralt for processen, at alle gasser trækkes gennem forgasningszonen med den understøkiometriske forhold, før de forlader kammeret.

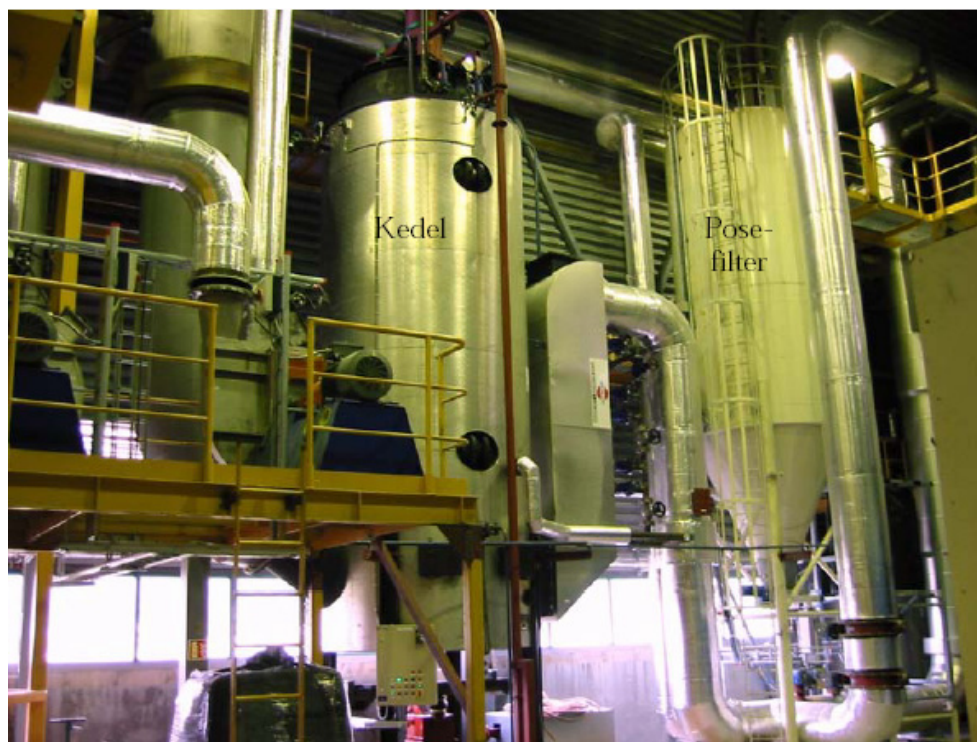
På grund af den usymmetriske opbygning og det specielle strømningsmønster i forgasseren, vil affaldet blive udsat for meget forskellige opholdstider og temperaturforløb.

Bundasken tages ud med sneglen i bunden af kammeret. Sneglen kan transportere metal- og stenstykker 20 cm i længden og en diameter på ca. 5 cm.



Figur 5. Afgangsrør for syntesegassen og tilsætningen af sekundærluft (lodret rør).

Umiddelbart efter gasserne har forladt kammeret tilsættes sekundærluft (se Figur 5), hvorefter udbrændingen sker i et kort sekundærkammer og i en varm cyklon. De varme gasser fortsætter herefter til kedlen, der i Lier er en opretstående dampkedel med kuglerensning, for til sidst at gå videre til røggasrensningsystemet, som vist på Figur 6.



Figur 6. Lier Fjernvarme: Opretstående kedel med kuglerens og posefilter.

## 2.5 Røggasrensning

Efter kedlen indblæses en blanding af hydratkalk og aktivt kul i røggassen. Hydratkalken reagerer med sure gasser ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , ...) i røggasserne, mens aktivt kul absorberer organiske stoffer, fx evt. rester af dioxiner. Røggasrensningens produkter opsamles i det efterfølgende posefilter.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-09-19 fra kl. 13:30 til kl. ca. 15.

### 3.2 Tilførte materialer behandlet under besøget

Forgasningsanlægget i Lier er designet til sorteret husholdningsaffald.

### 3.3 Driftsforhold

Anlægget var under indkøring og ude af drift under besøget, fordi der skulle installeres en neddeler til affaldet før den eksisterende indfødningssluse.

OP's ældste anlæg i Boseong City, Sydkorea

### 3.4 Output under besøget

Intet.

## 4. ritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget blev følgende spørgsmål diskuteret:

1. Er der forekomst af kondenserbare stoffer og forureninger i processernes forskellige trin; fx af tjære, sod, metaller, salte og oxider i pyrolyseovnens top, i gaskanaler eller i efterforbrændingskamre?

I OP's forgasningsproces ledes alle gasser gennem den reducerende forgasningszone inden de forlader anlægget. Tjæreindholdet i syntesegassen er derfor meget lavt.

2. Hvordan kontrolleres mængden af kondenserede stoffer, dvs. hvordan renses de kritiske procesafsnit for afsætninger?

Eventuelle belægninger på dyserne i den nederste del af procesanlægget vil kunne fjernes, idet dyserne kan trækkes ud og renses under drift.

3. Forekommer der recirkulation af materiale i processen, så visse stoffer langsomt kan akkumuleres?

Da røggassen recirkuleres efter rensning i posefilteret vil indholdet af faste stoffer vil være meget og ikke give problemer med akkumuleringer i anlægget.

4. Hvilken kemisk stabilitet har restprodukter fra processen? Er de lagringsstabile mht. tungmetaller og dermed egnet til deponering (data for standardudvaskningstests), eller lækker der tungmetaller, og skal de betragtes som miljøfarligt affald?

Røggasrensningsprodukt skal deponeres.

5. Findes der dioxiner (eller andre halogenerede organiske stoffer) i restprodukter eller evt. mellemprodukter som skal oparbejdes andetsteds?

Dioxiner og andre halogenerede organiske stoffer fjernes effektivt med aktivt kul, der indblæses i røggassen efter kedlen. Posefilteret opsamler røggasrensningsproduktet.

## 5. Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

Målinger af emissioner til luften målt på OP's anlæg i Boseong City, Sydkorea er vist i Tabel 2.

Tabel 2. Emissioner til luften fra Organic Powers anlæg i Boseong City, Sydkorea

Stof	Målt/garanti (11% O <sub>2</sub> )	EU-krav (11% O <sub>2</sub> , tør gas)
	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>
SO <sub>x</sub>	8	50
NO <sub>x</sub>	107	200
HCl	13 <sup>1</sup>	10
CO	18	50
Støv	8	10
	<i>ng-TEQ/m<sup>3</sup></i>	<i>ng-TEQ/m<sup>3</sup></i>
Dioxiner	0,067	0,1

### 5.2 Spildevandsudledning

Der er intet spildevand fra processen.

### 5.3 Støj

Emissionen til omgivelserne vil være mindre end 45 dB.

### 5.4 Lugt

Vi forventer ingen lugtproblemer fra luftafkastet fra OP's anlæg.

Anlæggene opfylder - på nær HCl - EU-direktivets krav til affaldsforbrændingsanlæg (bl.a. opholdstid 2 s /850 °C), hvilket også sikrer mod lugtemissioner. En bedre rensning i fx en skrubber forventes at kunne bringe emissionen under EU's grænseværdi.

Røggassen renses i øvrigt med bl.a. aktivt kul, der også ville kunne fjerne lugt.

### 5.5 Affaldsproduktion

Asken fra forgasningsprocessen indeholder ca. 2-3 % uforbrændt, hvilket er i overensstemmelse med EU's direktiv. Det er ikke muligt at forudsige, hvilken slagge kategori asken vil ligge, da udvaskningsegenskaberne ikke er målt.

Røggasrensingsproduktet ville i Danmark pga. indholdet af tungmetaller etc. skulle deponeres på specialdeponi.

<sup>1</sup> Overholder Koreanske krav.

## 5.6 Samlet dioxinmission

Den samlede dioxinmission fra anlægget er ikke kendt, da der ikke er målt dioxiner i restprodukterne

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Al transport af støvende materiale sker i lukkede systemer.

Det er vigtigt, at den fremtidige neddeling af affaldet sker i et lukke system med afsugning af støv.

### 6.2 Internt støjniveau

Som på andre affaldsforbrændingsanlæg - dog er ventilatorerne på anlægget i Lier, der recirkulerer røggassen til forgasningskammeret placeret i selve ovnhallen.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Ingen - aske og røggasrensingsprodukt transporteres i lukkede systemer.

### 6.4 Dioxinbelastning

Ingen - røggasrensingsproduktet transporteres i lukkede systemer.

6.5 Andet - fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

## 7. Beskrivelse af input

Organic Powers anlæg behandler:

- Sorteret husholdningsaffald
- Industriaffald - plast, pap, papir, mm.

Anlæggenes modtagefaciliteter er typisk beregnet til brændsel, der er presset til baller og pakket i PVC-fri plastfolie (se Figur 7).



Figur 7. Lier Fjernvarmes modtagefacilitet for baller af industriaffald.

Organic Powers krav til affaldet er:

- Højst 5% (w/w) ubrændbart.
- Nedre brændværdi: 10-18 MJ/kg.
- Kvælstofindhold: < 1% (w/w)
- Klorindhold: < 1% (w/w)
- Partikelstørrelse:
  - Organisk materiale: 7 x 10 x 20 cm.
  - Ikke-brændbart: Ø5 x 20 cm.



## 8. Beskrivelse af output

### 8.1 Kraft/varme

Varmeværket i Lier forsyner Osmund Espedal Handelsgartneri med varme. Virkningsgraden er ca. 85%.

Fjernvarmeprisen er 130 NOK/MWh svt. 130 DKK/MWh.

### 8.2 Metaller

Anlægget producerer ingen metaller.

### 8.3 Granulat/restprodukt

Bundaske og røggasrensingsproduktet skal deponeres. Bundasken indeholder 2-3% uforbrændt materiale.



Figur 8. Bundaske fra forgasningsanlægget hos Lier Fjernvarme.

Udvaskningsegenskaberne er ikke undersøgt.

## 9. Økonomi

### 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Organic Power skal levere et anlæg til Nakskov Kommune bestående af 6 linier á 2 MW. Prisen er 84 mio. DKK.

### 9.2 Omkostningsstruktur

Nedenstående forudsætninger og data er anvendt i forbindelse med et skøn over behandlingsprisen. Alle data er opgivet af Organic Power med undtagelse af rentefod samt priser på el og varme, der er tilpasset danske forhold.

Anlægsstørrelse:	36.000 t industriaffald/år
Investering ekskl. bygninger:	84.000.000 DKK
Rentefod:	7 % p.a.
Tilbagebetalingstid:	15 år

#### Udgifter til deponering

Bundaske:	0 DKK/t
Røggasrensingsprodukt:	675 DKK/t

#### Driftsudgifter

Gennemsnitlig løn til personale:	300.000 DKK/person	6 personer
Elektricitet:	390 DKK/MWh	1.000 MWh/år
Andre driftsudgifter	5.040.000 DKK/år	

#### Vedligehold og reparation:

Normalt maskineri	2 % af investering
-------------------	--------------------

#### Salgspriser for produkter

Varme:	150 DKK/MWh
--------	-------------

Udgifter til forsikringer er ikke inkluderet.

#### Skønnede behandlingsomkostninger

Kapitalomkostninger	256 DKK/t
Driftsomkostninger	261 DKK/t
Indtægter	300 DKK/t

Den endelige behandlingspris vil være afhængig af anlægsplacering, faciliteter til stede, valgte bygningsstandarder osv. og den endelige pris, som vil kunne opnås for anlægget efter forhandlinger.

Behandlingsprisen skønnes at blive 217 DKK/t industriaffald for et turn-key anlæg.

Behandlingsomkostningerne for anlæg med en lavere kapacitet på f.eks. 12.000 t industriaffald/år vil blive noget højere.

# 10. Konklusioner og anbefalinger

## 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Organic Powers proces er en meget billig og robust forgasningsproces, der har vist sin berettigelse til husholdningsaffald og industriaffald uden indhold af frie metaller. På grund af den usymmetriske opbygning af forgasningskammeret og det specielle strømningmønster i forgasseren, vil affaldet blive udsat for meget forskellige opholdstider og temperaturforløb. Den specielle forgasningsproces producerer meget lidt tjære.

Virksomheden har ikke erfaringer med oparbejdning af metaller eller andre restprodukter.

Processen vil sandsynligvis være egnet til termisk behandling af CCA-imprægneret affaldstræ, men Organic Power har ikke udført forsøg med denne form for affald.

Processen kan ikke anbefales til behandling af shredderaffald eller andet affald med et væsentlig indhold af frie metaller og tungmetalforbindelser med mindre de frie metaller fjernes fra affaldet før forgasningen eller fra asken. På grund af tungmetalindholdet i shredderaffald vil asken fra OP's proces under alle omstændigheder forglases i en termisk proces for at sikre tilstrækkelig gode udvaskningsegenskaber.

## 10.2 Affaldets udnyttelsesgrad

Den termiske virkningsgrad er ca. 84%, men evt. metaller eller andre stoffer i affaldet udnyttes ikke.

## 10.3 Miljømæssige problemstillinger

Organic Powers anlæg overholder alle krav i EU's direktiv for affaldsforbrænding.

## 10.4 Muligheder for know-how-formidling

Organic Power ASA  
Klingenberggaten 7 a  
Pb 1237 Vika  
N 0110 Oslo  
Norge

Kontaktperson:  
Hans Bjerkvig

Telefon: +47 23 11 59 00

Fax: +47 23 11 59 01  
E-mail: [hans.bjerkvig@organicpower.com](mailto:hans.bjerkvig@organicpower.com)  
Internet: [www.organicpower.com](http://www.organicpower.com)



# Logbog for besøg hos Procone

## Indhold

1	GENERELLE OPLYSNINGER	172
2	KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	175
3	OBSERVATIONER UNDER BESØGET	179
4	KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	180
5	MILJØMÆSSIGE FORHOLD	181
6	ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	183
7	BESKRIVELSE AF INPUT	184
8	BESKRIVELSE AF OUTPUT	185
9	ØKONOMI	188
10	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	190

# 1 Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Forgasning af affaldstræ

## 1.2 Tilført affald

Affaldstræ

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### **Licenshaver**

Procone Vergasungssysteme GmbH  
Geschäftsstelle Schweiz  
Allmendstrasse 398  
CH-4617 Gunzgen  
Schweitz

Kontaktperson  
Adrian Fürst

Telefon: +41-62-216-80-80

Fax:

E-mail: [procone@swissonline.ch](mailto:procone@swissonline.ch)

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

PPS Pipeline Systems GmbH.

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

PPS Pipeline Systems GmbH  
Steyermühle 1-3  
09634 Siebenlehn  
Tyskland

Anlægget er vist på Figur 1





Figur 1. Forgassingsanlægget ved Siebenlehn.

#### 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

At producere kraft/varme af affaldstræ.

#### 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

2,5 t/time

8.000 driftstimer per år

#### 1.8 Byggeår og status for projektet

Anlægget er sat i drift i løbet af år 2000, og forgasseren har pr. 6/6-2002 haft 8.300 driftstimer.

Gasturbinen har dog først været i drift siden december 2001.

Anlægget er pt. lukket, da det blev oversvømmet, da Elben stod over sine bredder. Endvidere er Babcock-Borsig og dermed PPS ved at blive rekonstrueret efter konkurs, hvorfor anlægget forsøges solgt til anden side

Et andet anlæg findes i Espenhain, hvor man har prøvet slam, shredderaffald mm.

På anlægget blev gennemført en 3 måneders prøvetid med en gasmotor i år 2000 med 75% opetid.

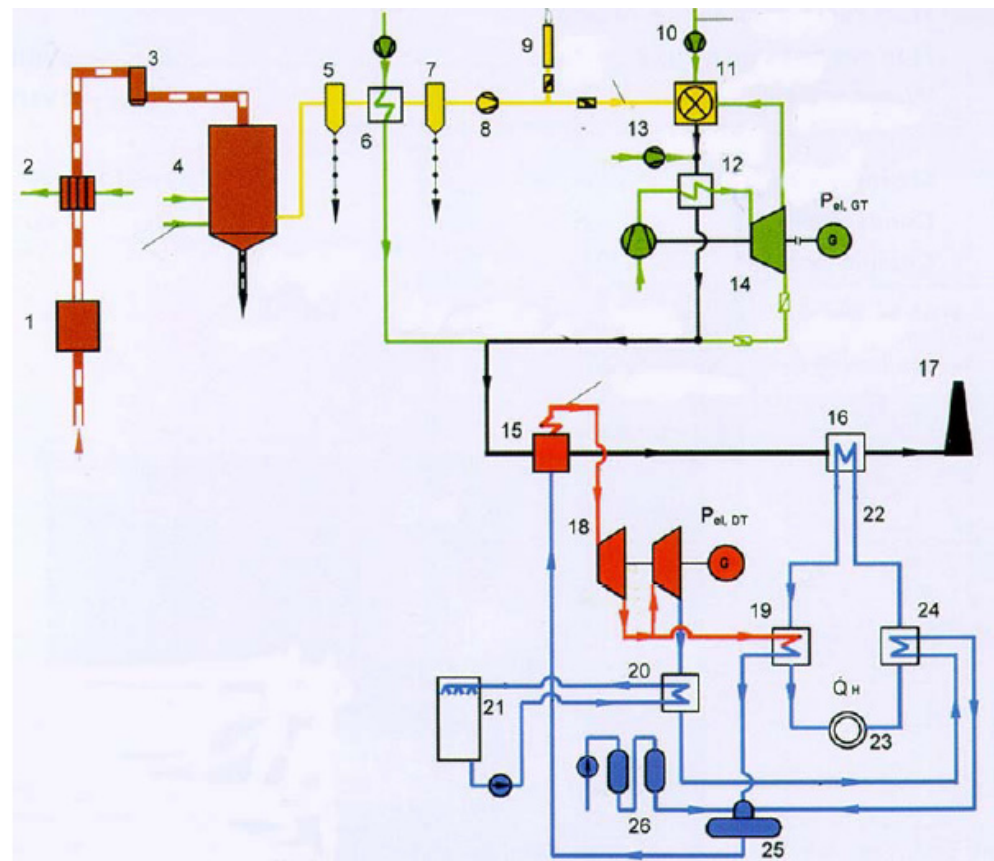
Med produktion af 450 kW el og 600 kWh varme. Motoren overholdt ikke 17. BImSchV.

I Schweiz er et pilotanlæg til slam med 50-60% aske under afprøvning. Anlægget har et forbedret efter-forgasningskammer, hvor restkoks i asken kan oxidere fuldstændigt. Test pågår i 2003, hvorefter det afgøres, om et fuldskalaanlæg skal bygges (6.000 t/år)

## 2 Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

Et procesdiagram over anlægget er vist i Figur 2:



Figur 2. Procesdiagram for Procone forgasningsanlægget.

#### Symboler:

- 1: Brændsels bunker
- 2: Tørring (benyttes ikke)
- 3: Mellem lager og brændselsindføding
- 4: Forgasser
- 5: Cyclon (benyttes ikke)
- 6: Gas køler
- 7: Fin filter (benyttes ikke)
- 8: Blæser
- 9: Sikkerhedsfakkel til opstart og nedlukning
- 10: Kold luft blæser 1
- 11: Forbrændingskammer
- 12: Højtemperaturvarmeveksler
- 13: Kold luft blæser 2
- 14: Gasturbine
- 15: Dampkedel til produktion af damp fra spildvarme
- 16: Røggasvarmeveksler
- 17: Skorsten

18:Kondensationsdampturbine  
19:Varmevexler  
20:Kondensator  
21:Køletårn  
22:Lokalt varmesystem  
23:Fjernvarme  
24:Condensat økonomiser  
25:Føde vandstank  
26:Fødevandskonditionering

## 2.2 Affald

Det modtagne affald består af affaldstræ ("altholz" eller "restholz") i henhold til de tyske klasser 1 eller 2.

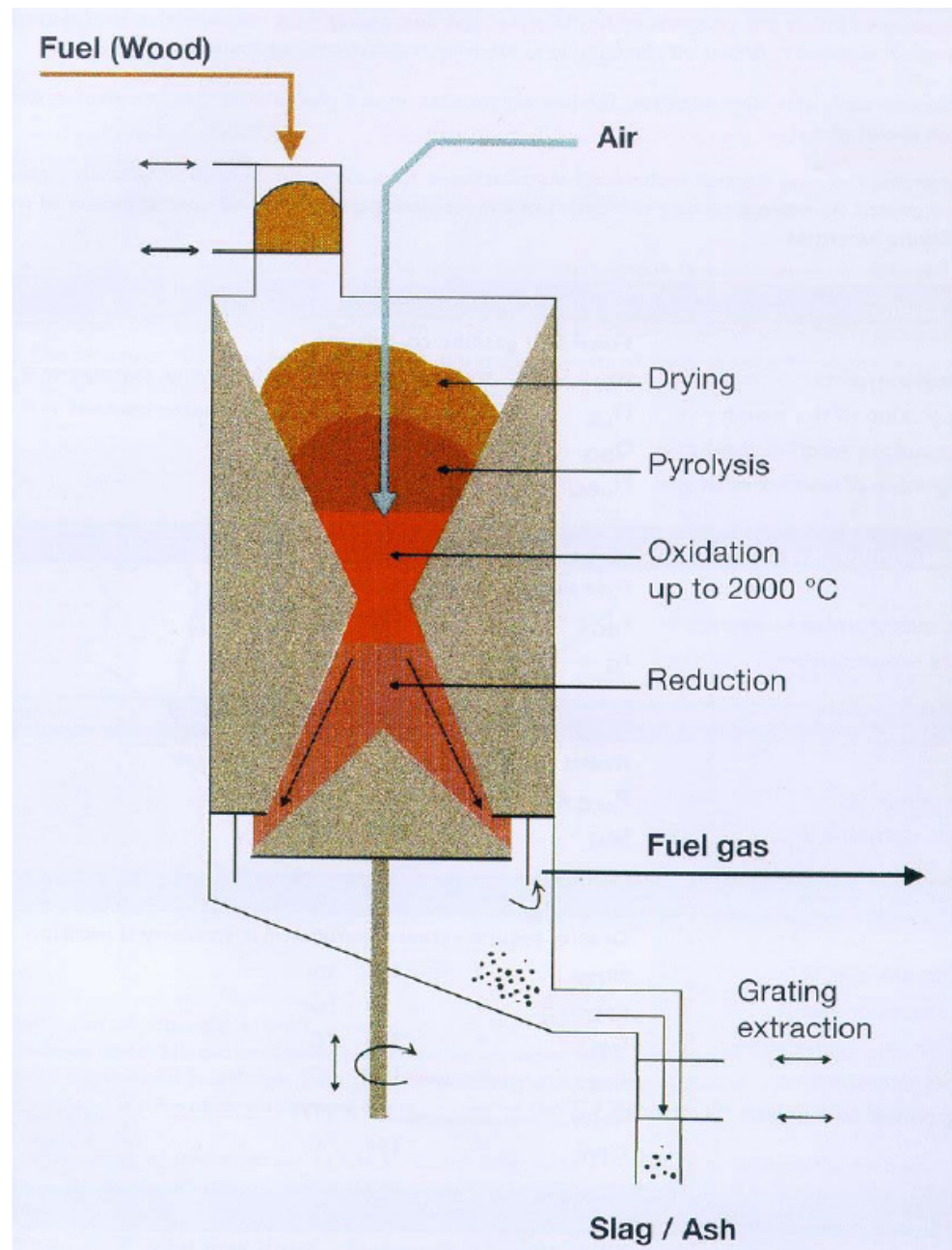
- Klasse 1 er ubehandlet affaldstræ
- Klasse 2 er malet, lakeret eller limet træ uden brug af halogenholdige midler samt uden imprægneringsmidler.

## 2.3 Forbehandling

Det modtagne træ leveres som flis rensat for sten og metal til en 1.000 m<sup>3</sup> lagerbunker (Figur 2, (1)). Træet er neddelat til mellem 2 og 16 cm og har et fugtindhold mindre end 30%. Forgasseren kan dog behandle træ med op til 45% fugt.

## 2.4 Forgasning

Flisen tilføres fra lagerbunkeren til en lagersilo (800 m<sup>3</sup>), hvorfra den tilføres forgasseren via en sluse i toppen af forgasseren (se Figur 3). Forgasseren er en medstrømsforgasser, hvor røggassen passerer ud samme vej som asken fra brændslet. Brændslet passerer ned gennem en kegleformet skakt, hvor der først sker en tørring, dernæst en pyrolyse og forgasning fulgt af en oxidationszone i midten af forgasseren. Keglen opbygges af slagge under drift grundet den nedenfor værende kegleformede slaggeudmader. I pyrolysezone dannes brændbare gasser som brint og kulmonooxid, samt tjære. I forgasningszonen dannes yderligere gas fra koks og tjære og i oxidationszonen nedbrydes rester af højere kulbrinter lige som lidt af de dannede gasser forbrændes indtil ilten er opbrugt. I oxidationszonen opstår temperaturer på op mod 2000°C hvorved der dannes en smeltet slagge. Efter oxidationszonen udvider forgasningskammeret sig ned mod askeudmader, der er udformet som en roterende keglestub, og som kan justeres i højden og i rotationshastighed. Den kegleformede slaggeudmader kan hæves og sænkes ca. 40 cm, men justeres kun ca. 1 cm under drift. I forgasningskammeret er der en reducerende atmosfære, så der ikke sker yderligere omsætning af gassen og gas, og at slaggegranulatet afkøles til under 500 °C. Asken passerer herefter en partiel oxidationsreaktor for at få oxideret rester af kulstof. Denne reaktor er for lille til at kunne forgasse al restkulstof på dette anlæg. Et pilotanlæg til forgasning af slam i Schweiz har monteret et efter-forgasningskammer (en lille modstrømsforgasser) med en korrekt dimensionering, hvorved restkulstof i asken undgås.



Figur 3. Principskitse af Procones medstrømsforgasser.

## 2.5 Energiproduktion og røggasrensning

Energien fra i den brændbare forgasningsgas udnyttes til produktion af kraft/varme i Combined Cycle kraft/varme-anlæg. Fra afgangen af forgasseren passerer gassen en røggaskøler (Figur 2, (6)), der producerer damp ved 400 °C. Gassen forbrændes dernæst ved 1080 °C og passerer en varmeveksler (Figur 1, (12)), der sænker temperaturen af den forbrændte gas til 450 °C og producerer varmluft på 850 °C. Den varme luft ledes dernæst til en varmluft-turbine, som producerer el. Afgangsluften på 450 °C ledes dels retur til brændkammer, dels videre sammen med den forbrændte gas. Ved at benytte den varme luft til forbrændingen kan opnås en høj forbrændingstemperatur. Røggassen fra afgangen af varmeveksleren, luften fra gaskøleren (Figur 1, (6)) og varmluften fra afgangen af varmluftturbinen ledes til en dampkedel (Figur 1, (15)), hvor der produceres damp af den ca. 400-450 °C varme røggas som udnyttes til produktion af el i en dampturbine (Figur 1, (18)). Restvarmen fra

røggassen udnyttes til produktion af fjernvarme via en varmeveksler (Figur 1, (16) ), ligesom der produceres fjernvarme af den kondenserede damp fra turbinen. Da der kun forgasses træflis i klasse I og II, har det ikke været nødvendigt med røggasrensning for at kunne overholde kravene i TA-luft.

## 3 Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 6/6 2002 fra kl. 9:30 til kl. 13.

### 3.2 Indsatsmaterialer behandlet under besøget

Type:

Mængde i t/h: 0 t/h

Kapacitetsudnyttelse: 0 %

Anlægget var under opstart efter driftsstop

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid: 24 timer/døgn

Forventet produktionstid: 8.000 h/år

Revisioner: 6-7 pr. år

Anlægget kører i perioden op til besøget op til 6 uger. Der regnes med, at man vil kunne opnå 8 ugers driftsperioder, hvorefter der må udføres 1-2 dages rensning mm. I alt forventes at kunne opnås 8.000 driftstimer pr. år.

Ved besøget var den totale driftstid for forgasseren 8.300 timer.

### 3.4 Output under besøget

#### 3.4.1 Restprodukt

Da anlægget var under opstart blev der ikke produceret restprodukter, men slaggen fra tidligere produktion blev besigtiget.

#### 3.4.2 El/varme

Der blev ikke produceret varme, da anlægget var under opstart.

## 4 Kritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget blev følgende spørgsmål diskuteret:

1. Er der forekomst af kondenserbare stoffer og forureninger i processernes forskellige trin; fx af tjære, sod, metaller, salte og oxider i pyrolyseovnens top, i gaskanaler eller i efterforbrændingskamre?

Anlægget producerer meget fint kulstøv, som ved normal drift ikke kommer ud af anlægget. Dog vil der kunne afgives kulstøv ved reparationer og planlagte start/stop, hvilket har givet problemer med kortslutninger i el-tavler og afsætning i sugetræksblæsere.

2. Hvordan kontrolleres mængden af kondenserede stoffer, dvs. hvordan renses de kritiske procesafsnit for afsætninger?

Anlægget renses for kulstøv ca. hver anden måned.

3. Hvilken kemisk stabilitet har restprodukter fra processen? Er de lagrings-stabile mht. tungmetaller og dermed egnet til deponering (data for standardudvaskningstests), eller lækker der tungmetaller, og skal de betragtes som miljøfarligt affald?

Asken overholder tyske krav til deponering af slagge fra denne type anlæg.

4. Findes der dioxiner (eller andre halogenerede organiske stoffer) i restprodukter eller evt. mellemprodukter som skal oparbejdes andetsteds?

Dioxinindholdet i restprodukterne er ikke blevet målt.



## 5 Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

**Tabel 5.1.** Emissioner til luften.

Stof	Målt/garanti (11% O <sub>2</sub> )	EU-krav (11% O <sub>2</sub> , tør gas)
	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>x</sub>		50
NO <sub>x</sub>	overholder TA luft	200
HCl		10
CO	overholder TA luft	50
Støv		10
	ng -TEQ/m <sup>3</sup>	ng- TEQ/m <sup>3</sup>
Dioxiner		0,1

### 5.2 Spildevandsudledning

Spildevand med svagt forøget saltindhold ledes til det nærmeste spildevandsrensningsanlæg.

### 5.3 Støj

Støjniveauet kunne ikke bedømmes grundet anlægsstop. Vi vurderer, at niveauet er af samme størrelse som andre termiske anlæg og overholder tyske regler i TA Lärm.

### 5.4 Lugt

Kunne ikke vurderes grundet anlægsstop, men der forventes ingen lugtproblemer med denne type anlæg, da det er et krav, at forgasningsanlæg skal være meget tætte for at undgå udslip af forgasningsgassen.

### 5.5 Affaldsproduktion

Der produceres slagge med et ret stort restindhold af kulstof hvilket kan være problematisk i forbindelse med genanvendelse af slaggen. Kulstof indholdet vil dog mindskes i en nyere version af anlægget med en partiel efter-oxidation.

### 5.6 Samlet dioxinmission

Der er ikke målt for dioxinmission, men der forventes ingen dioxiner i forgasningsgassen grundet den reducerende atmosfære. Ved forbrænding af gasen i forbrændingskammeret forventes ikke dannet dioxiner grundet den høje temperatur, men der kan i princippet dannes dioxiner under afkølingen af

gassen afhængigt af designet af forbrændingsprocessen. Evt. dannede dioxiner vil kunne fjernes med aktivt kul som på moderne forbrændingsanlæg.

## 6 Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Ved åbning af anlægget for inspektion og reparation kan forekomme eksponering for en del fint kulstøv. Der bør derfor benyttes passende beskyttelsesudstyr ved åbning af anlægget.

### 6.2 Internt støjniveau

Dette kunne ikke bedømmes.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Da der ikke behandles træ belastet med tungmetaller, vil der ikke være nogen eksponering for disse ved åbning og inspektion af anlægget.

### 6.4 Dioxinbelastning

Denne kendes ikke.

### 6.5 Andet; fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Ingen særlige gener.

## 7 Beskrivelse af input

Besøget var for kort til at beskrive input i detaljer. Input er træflis..



Figur 4. brændselsflis til procones anlæg.

## 8 Beskrivelse af output

Besøget var for kort til at kunne beskrive output i detaljer

### 8.1 Kraft/varme

Procones anlæg producerer kraft/varme. I Tabel 8.1 er vist en masse og energibalance for anlægget.

Tabel 8.1. Masse og energibalance for (vinter-drift).

Anlæg		Procone forgasser, Siebenlehn		
Affald		Træflis		
Flow	Input		Output	
	kg	GJ/ton	kg	GJ
Affald	1.000	13,60		
Slagge			20	
Materiale konverteret til gas			980	
Sum Brændsel	1.000	13,60		
<b>Total Sum</b>	1.000		1.000	
	Energibalance (1 ton affald)			
	Effektivitet %	GJ	MW	GJ
Tilført energi		13,60	3,78	
Energi i forgasningsgas	90	12,24	3,40	
Netto produceret varme			1,80	6.48
Produceret elektricitet			0,80	2.88
Elforbrug			0,10	0.37
Netto produceret elektricitet			0,70	2.51
Net. elektrisk virkningsgrad %				<b>18.4</b>
Total virkningsgrad %				<b>66.1</b>
<b>Netto el-produktion kWh/t affald</b>				<b>696</b>

Data i Tabel 8.1 er baseret på følgende opgivne data for energieffektivitet af forgasseren:

Tilført træflis	:2,5 t/h
Vandindhold	:25%
Nedre brændværdi våd	:13,6 MJ/kg
Produceret el fra gasturbine	:1,3 MW
Produceret el med dampturbine (sommer-drift)	:1,0 MW
Produceret el med dampturbine (vinter-drift)	:0,7 MW
Eget forbrug af strøm (0,2-0,32 MW)	:0,26 MW

Procone har oplyst en beregnet samlet virkningsgrad ud fra energiindholdet i forgasningsgassen (8,5 MW) på 73% ved sommer-drift og 39% ved vinter-drift.

Hvis virkningsgraden baseret på energiindholdet i gassen omregnes til en virkningsgrad baseret på nedre brændværdi i træflisen (13,6 MJ/kg eller 9,44 MW), fås virkningsgrader som angivet i Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Virkningsgrader for anlægget i Siebenlehn

	Sommer-drift %	Vinter-drift %
Netto elektrisk virkningsgrad	21,6	18,4
Netto total virkningsgrad	35,4	66

Varmen sælges til et nærtliggende garveri.

## 8.2 Metaller

Der udsorteres ingen metaller fra brændslet på anlægget. Hvis det er nødvendigt at frasortere metal, sker det hos leverandørerne af træflisen.

## 8.3 Granulat/restprodukt

Der produceres en slagge som består af smeltede mineraler opblandet med medrevet kulstof (ca. 13-16%). Slaggen er vist på Figur 5.



Figur 5. Slagge fra Procones forgasningsanlæg.

Det åbenlyse høje kulstofindhold skyldes den underdimensionerede sekundær forgasningsreaktor til forgasning af restkulstofindholdet i slaggen. I Schweiz er opstillet et pilotanlæg til behandling af slam med en korrekt dimensioneret sekundær forgasningsreaktor. Med dette anlæg opnås et restindhold af kulstof i slaggen på mindre end 0,1%.

Tabel 8.3 Udvaskningsegenskaber for slaggen fra Procones anlæg.

Stof	Målt	Dansk slagge- Kategori II	Dansk slagge- kategori III
	ug/l	ug/l	ug/l
Hg total		0 – 0,1	0,1 – 1
Pb		0 – 10	10 – 500
Cd		0 – 2	2 – 40
Cr (VI)		0 – 10 (Cr total)	10 - 500 (Cr total)
As		0 – 8	8 – 50
Se			

Slaggen overholder tyske krav for slagge til deponering; men vi har ikke kunnet fremskaffe eksakte måleværdier.

# 9 Økonomi

## 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Der findes ikke data for økonomien i anlægget ved Siebenlehn, men i stedet er vist et estimat for et anlæg med brændselslager, forgasser, gasbehandlingsanlæg, 2 gasmotoragregater med produktion af strøm og produktion af fjernvarme ud fra motorvarme (Frem: 90 °C, retur: 70 °C).

Estimatet er udregnet for danske forhold og gælder kun for brug af ren træflis. Hvis trykimprægneret træ skal forgasses, forventer vi, at røggasrensningen skal modificeres ligesom bemanding mm. formentlig skal forøges til konstant bemanning.

Anlægsstørrelse:	9.600 t/år
Brændsel:	træflis 14,4MJ/kg nedre bv. våd
Driftstimer	8000 timer
Rente:	7% p.a.
Tilbagebetalingstid:	15 år

Investeringssum inkl. bygninger: 23,5 mio. DKK.

## 9.2 Salgspriser for produkter

Salg af elektricitet:	0,35 DKK/kWh
Salg af varme:	0,15 DKK/kWh
Salg af slagge:	0,00 DKK/kg

I beregningseksemplet producerer anlægget:

- Netto leveret til net 8.800 MWh el/år.
- Fjernvarme 14.400 MWh/år med 90/70°C.
- Anden varme 3.600 MWh/år med 60/40°C.

Med de angivne data opnås en netto el-virkningsgrad på 23% og en total netto virkningsgrad på 70%.

## 9.3 Udgifter til Bortskaffelse og Løn

Deponeringsudgifter:	Ingen
Rensning af spildevand (kondensat):	25 DKK/t
Gennemsnitlig løn til personale:	300.000 DKK/person

## 9.4 Driftsudgifter

Energi: 0 DKK da der produceres overskud af strøm og varme

Personale: Anlægget kan formentlig bygges til at



drives af 4 personer (2\*2 pers) + anlægsopkald om natten og i weekend.  
Men ved farligt affald kræves fuld bemanning svarende til 10-14 pers. Der er antaget 12 personer.

Kemikalieforbrug: Negligeabelt ved træflis. Hvis der forgasses trykimprægneret træ, vil formentlig skulle doseres kalk o. lign.

Mængder til deponering:

Det antages at slaggen grundet smeltning kan genanvendes. Der haves ikke data til at kunne vurdere udvaskningsegenskaberne.

Røggasrensingsprodukt (Kondensat: 52 l/ton)

Vedligehold og reparation: (3%) af investering.

Div. forsikringer mv.: Ikke inkluderet.

Administration og overhead: Ikke inkluderet.

### 9.5 Behandlingsomkostninger

Beregningen af behandlingsomkostninger er kun foreløbige skøn, som skal vise niveauet for behandlingsomkostningerne. Den endelige behandlingspris vil være afhængig af anlægsplacering, faciliteter til stede, valgte bygningsstandarder osv. samt størrelsen af den rabat der ved forhandling kan opnås på købsprisen for anlægget.

Beregningen viser følgende udgifter.

Kapitaludgifter: 269 DKK/t

Driftsudgifter: 464 DKK/t

Indtægter: 583 DKK/t

Behandlingsprisen skønnedes således at blive 149 DKK/t inkl. bygninger for et turn-key-anlæg.

Hvis anlægget ligger op ad andet anlæg og kan drives via et fælles operatørum kan bemanningen sænkes væsentligt. En bemanning på 6 personer sænker således driftsudgifterne til 276 DKK/t, hvorved processen giver overskud.

# 10 Konklusioner og anbefalinger

## 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Procones forgasser vurderes at kunne behandle imprægneret træ. Det forventes dog, at der skal etableres en bedre røggasrensning for at kunne overholde krav til emission af arsen og tungmetaller. Arsen forventes at ende i henholdsvis i røggasrenseprodukt og slagge. Fordelingen kendes ikke, da der ikke er lavet forsøg med dette. Resultater af forsøg med modstrømsforgasning af CCA-imprægneret træ viser at en væsentlig del af arsen-indholdet i brændslet (ca. 70-80%) ender i røggasrenseprodukterne. I Procones forgasser ledes pyrolysegasserne ud sammen med slaggen, men passerer dernæst en sekundærforgasser, som kan betragtes som en modstrømsforgasser. Evt. udkondenserede arsen-partikler formodes at genfordampe i sekundærforgasseren, så det er muligt, at fordelingen mellem forgasningsgas og slagge vil være af samme størrelsesorden som for en modstrømsforgasser.

Kobber og krom formodes primært at fanges i slaggen.

Hvis metaller ønskes oparbejdet, skal dette således udføres ved en efterfølgende behandling af slaggen. Her skal det bemærkes, at metaller i slaggen grundet smeltningen formodes at være bundet hårdere end i slagge, som ikke har været smeltet. Herved formodes evt. oparbejdning ved opløsning med kemikalier og genudfældning af metaller at være lidt vanskeligere end fra slagge, som ikke har været smeltet.

## 10.2 Omkostningsstruktur

Behandlingsomkostningerne for et anlæg med en kapacitet på 9.600 t/år med en bemanning på 12 personer er i størrelsesordenen 150 DKK/t. Her skal bemærkes, at røggasrensningen kun er udlagt til træflis, ligesom der ikke indgår nogen udvinding af metaller fra slaggen. Anlæggets økonomi er selvfølgelig afhængig af antallet af ansatte. Der er regnet med 24 timers drift med en minimumsbemanning på 2 mand per skift i 5 skift, samt 2 andre ansatte, hvilket primært er af sikkerhedshensyn. Dette vil også være tilstrækkeligt ved et anlæg med den dobbelte kapacitet (2,5 t/time) hvilket forbedrer økonomien væsentligt. En grov opskalering giver således en behandlingsudgift på ~150 DKK/t. Der er ikke medregnet sparede deponeringsudgifter til det trykimprægnerede træ.

## 10.3 Affaldets udnyttelsesgrad

Anlægget forventes at kunne opnå 8.000 driftstimer pr år.

## 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Procones eksisterende anlæg vurderes pt. ikke at være udstyret med tilstrækkelig røggasrensning til at kunne behandle trykimprægneret træ, idet anlæggene er udlagt til behandling af tysk klasse I og II træ. En sådan nødvendig røggas-

rensning vurderes dog at kunne etableres med standardkomponenter for en merpris. Arsen fra brændslet vil fordele sig mellem slagge og røggasrensprodukter. Røggasrensprodukter vil skulle specialbehandles grundet et formodet arsen-indhold, mens slagge afhængigt af udvaskningsdata enten skal deponeres, vil kunne oparbejdes med metaludvinding eller evt. kan genanvendes som fyldmateriale.

Hvis et lignende anlæg etableres til behandling af imprægneret træ må indføres en række forholdsregler herunder afskærmning, afsugning mv. for at undgå kontakt med støv eller restprodukter.

### 10.5 Muligheder for knowhow-formidling

Knowhow-formidling kan ske via Procone.



# Logbog for besøg hos R-plus

## Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	194
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	196
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	200
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	201
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	202
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	203
7. BESKRIVELSE AF INPUT	204
8. BESKRIVELSE AF OUTPUT	206
9. ØKONOMI	212
10. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	214

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Mekanisk / magnetisk / elektrisk affaldssortering.

## 1.2 Tilført affald

Friskt shredderaffald.

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### Licenshaver

R-plus Recycling GmbH  
Heilbronner Strasse 13  
D-75031 Eppingen  
Tyskland

### Kontaktperson

Rolf Hengerer, Dr. Ing., Geschäftsführer  
Telefon: +49 72 626 12 12  
Fax: +49 72 626 12 19  
E-mail: [rolf.hengerer@r-plus.de](mailto:rolf.hengerer@r-plus.de)  
www: <http://www.r-plus.de>

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

R-plus ejes af U-plus Umweltservice AG, der er holdingselskab for en gruppe af selvstændigt styrede virksomheder inden for affaldsindustrien. U-plus-gruppen ejes 100% af EnBW Energie Baden-Württemberg AG, der er et tysk energi- og affaldsselskab med ca. 1.800 ansatte.

R-plus har 140 medarbejdere og havde i 2001 en omsætning på 23 mio. EUR.

### Kontaktperson

Rolf Hengerer, Dr. Ing., Geschäftsführer  
Telefon: +49 72 626 12 12  
Fax: +49 72 626 12 19  
E-mail: [rolf.hengerer@r-plus.de](mailto:rolf.hengerer@r-plus.de)

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

R-plus Recycling GmbH

Heilbronner Strasse 13  
D-75031 Eppingen  
Tyskland

### 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

Genanvendelse af metaller og elektronik.  
R-plus har ændret og videreudviklet LSD's anlæg til mekanisk sortering af shredderaffald fra behandling af biler.

Anlægget, der behandler shredderaffald, er fuldt driftsklart, men er ikke i drift. De meget lave deponeringsomkostninger på mindre end 51 EUR/t i Tyskland gør anlægget urentabelt.

Anlægget vil sandsynligvis blive aktiveret, når TA i 2005 forbyder deponering af brændbart affald.

Et EU-direktiv forbyder deponering af brændbart affald fra 2006.

### 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

12.000 t shredderaffald/y svarende til 4 t shredderaffald/h, 2 skift, 3.200 h/y.

### 1.8 Byggeår og status for projektet

Anlægget blev første gang afprøvet i 1999 men kunne ikke overholde de specificerede krav til kapacitet og renhed af produkterne. Anlægget er siden blevet kraftigt ombygget med:

- nye møller fra nye leverandører: MEVA og Eldan Scandinavian Recycling A/S (DK)
- nye sorteringsmaskiner bl.a. hvirvelstrømsseparatorer (eddy current)
- ny hovedsigte
- tilførsel af shredderaffald direkte fra shredderen, så tørring undgås.
- udtag af rene delstrømme tidligt i processen, så kun blandede delstrømme sorteres.

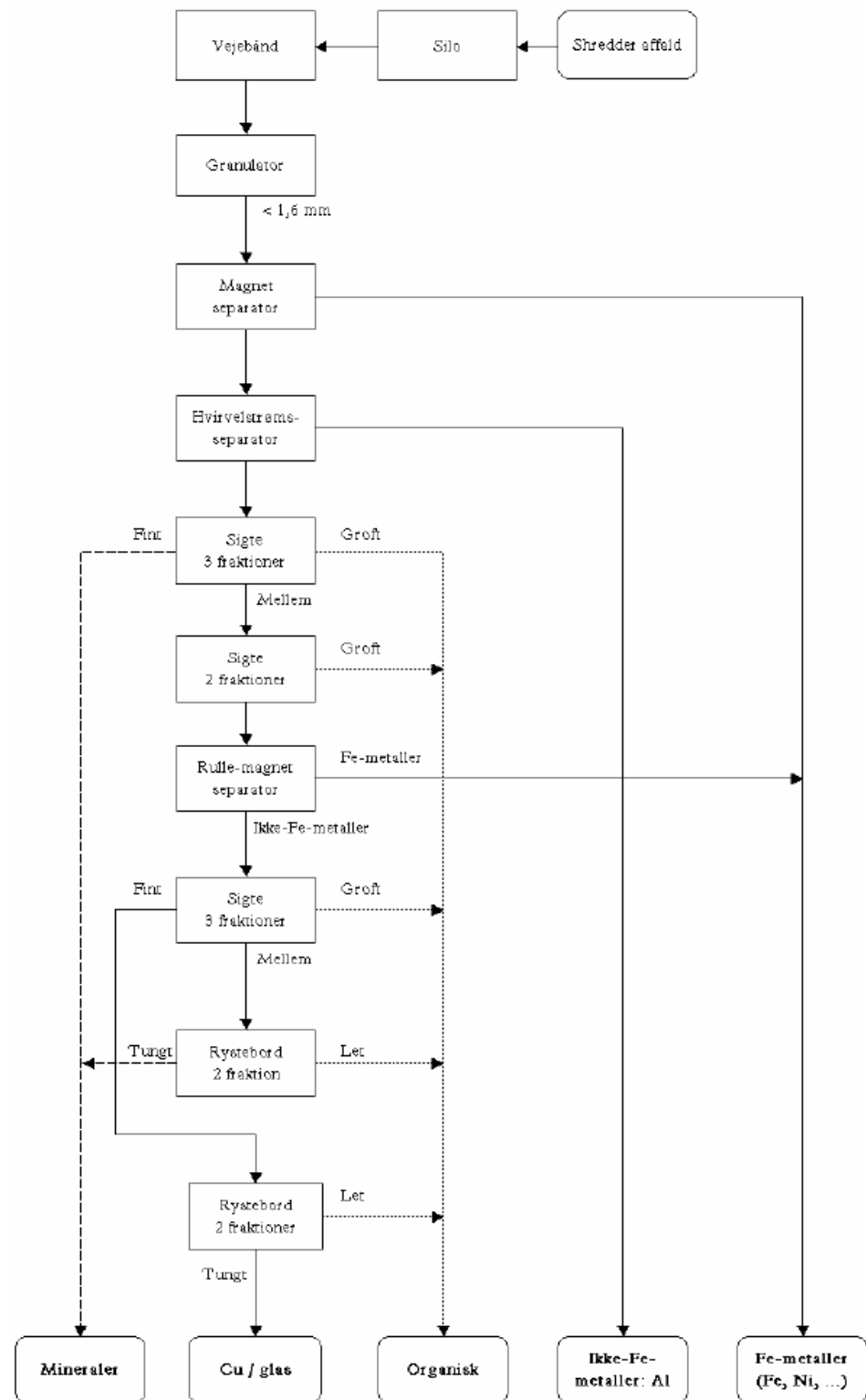
Hele processen er afprøvet, og dens kapacitet og effektivitet dokumenteret.

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

R-plus's proces er en videreudvikling af LSD/ARGE AltAutos proces, der ikke kunne overholde de lovede krav til kapacitet mm. R-plus har forbedret processen med nye granulatorer (neddelere) og ved at tage produktstrømme ud så tidligt i processen som muligt, så de efterfølgende delprocesser ikke belastes.





Figur 1. Procesdiagram for R-plus's mekaniske sorteringsanlæg.



Figur 2. Granulator (mølle) med tilførsel af friskt shredderaffald (th.)og udgående strøm (tv.).



Figur 3. Sigte med transportører til tre fraktioner (R-plus).

## 2.2 Affald

Anlægget vil kunne behandle shredderaffald direkte (uden tørring) fra shreddere på R-plus egne skrotningsanlæg.

## 2.3 Forbehandling

Shredderaffaldet føres uden forbehandling direkte fra shredderen til anlægget.

## 2.4 Proces(ser)

Anlægget indeholder kun mekaniske processer.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-06-04 fra kl. 9:30 til kl. 14.

### 3.2 Tilførte materialer behandlet under besøget

Type (kvalitativ beskrivelse): shredderaffald

Mængde i t/h: 4 t/h

Kapacitetsudnyttelse: 100 %

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid: Ca. 1 time  
Anlægget blev udelukkende startet

for at demonstrere

Forventet produktionstid: processen under besøget.  
8.000 h/år

### 3.4 Output under besøget

Der er altid store variationer i sammensætningen af shredderaffald. Den gennemsnitlige sammensætning af affaldet til R-plus's sorteringsanlæg giver følgende fraktioner:

Produktstrøm	Anvendelse
Organisk materiale	Den organiske fraktion, der har høj brændværdi, er svær at afsætte til fx stålværker pga. det høje indhold af natrium (Na).
Fe-metaller	Sælges til genanvendelse.
Al	Sælges til genanvendelse.
Cu + glas	Sælges til genanvendelse.
Mineraler	Deponeres i gamle saltminer Benyttes til vejfyld Anvendes som sand i fluid bed anlæg
Ferro-magnetiske småpartikler	Deponi
Støv mm.	Deponi

## 4. Kritiske delprocesser og driftsparametre

I mekaniske processer som R-plus's er der et stort slid på specielt neddelingsudstyr som granulatorer etc., hvilket medfører relativt høje omkostninger til vedligeholdelse på ca. 10% af investeringen om året (se også afsnit 9.2 Udgiftsstruktur).

## 5. Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

R-plus' anlæg er placeret i en lukket hal med ventilation og filtrering af luften. Der forekommer ingen emissioner til luften af miljømæssig betydning.

### 5.2 Spildevandsudledning

Der er intet spildevand fra processen.

### 5.3 Støj

Anlægget er placeret i en lukket hal og overholder tyske krav til støjemission.

### 5.4 Lugt

Der er ingen lugtgener fra anlægget.

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Alle støvende processer (neddeling, sigtning, etc.) sker i lukkede delprocesser med afsugning.

Der var meget lidt støv i hallen, og hele procesanlægget virkede rent.

### 6.2 Internt støjniveau

Sigter og granulatorer gav et vist støjniveau. Det vil sandsynligvis være nødvendigt, at driftspersonale bærer høreværn.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Da der er ingen støvbelastning er i produktionshallen, er der ingen risiko for tungmetalbelastning af driftspersonalet.

### 6.4 Andet - fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Af hensyn til tungmetaller og bakteriologisk vækst den organiske del af shredderaffaldet må driftspersonalet bære handsker og støvmaske under reparationsarbejde.



## 7. Beskrivelse af input

Shredderaffaldet fra R-plus' shredder anlæg indeholder relativt lidt jern og metaller i forhold til dansk shredderaffald, hvilket er almindeligt i Tyskland. Årsagen er sandsynligvis, at tyske shredderoperatører ofte arbejder med en relativ lille luftstrøm gennem shredderen, så en større del af metallerne ender i den tunge fraktion, mens shredderaffaldet kun indeholder lettere og finere partikler. Vi har ikke studeret shredderskottet nærmere; men vi forventer, at shredderskottets renhed ikke er så høj, som det ville være med en kraftigere afsugning.



Figur 4. Shredderaffald hos R-plus.





Figur 5. Nærbilbilde af shredderaffald hos R-plus.

### 7.1 Kvantitativ beskrivelse. Mængde og analyser.

Tabel 1. Sammensætning af shredderaffald fra R-plus' anlæg

Fraktion	% (w/w)
Organisk	52
Fe-metaller	1
Al	1
Cu + glas	1
Mineraler	23
Ferro-magnetiske småpartikler	9
Støv mm.	6
Sum	93

# 8. Beskrivelse af output

## 8.1 Metaller

R-plus' mekaniske sorteringsanlæg vil kunne producere følgende metalfraktioner:

- Fe-metaller (Fe, Ni, ..)
  - Grov fraktion (afsættes i genvindingsindustrien)
  - Fin fraktion (deponi)
- Ikke-Fe-metaller (Al, ..) (afsættes i genvindingsindustrien)
- Cu/glas

Figurerne nedenfor viser fotos af disse fraktioner og/eller mellem fraktioner.



Figur 6. grov fraktion af Fe-metaller fra R-plus' sorteringsanlæg





Figur 7. Ikke-Fe-metaller - grov fraktion (hovedsagelig Al).



Figur 8. Ikke-Fe-metaller - fin fraktion (hovedsagelig Cu og glas).

R-plus forventer at kunne sælge blandingen af kobber og glas, der dog relativt let vil kunne separeres i to rene fraktioner i et efterfølgende procestrin fx ved sortering efter farve eller vægtfylde.



R-plus har ikke kunnet oplyse renheden af metalproduktstrømmene, men de salgbare afsættes uden yderligere oprensning.

## 8.2 Granulat/restprodukt

Anlægget producerer desuden to restprodukter:

- Organisk materiale ("fluff")
- Mineralsk fraktion



Figur 9. Organisk fraktion ("fluff") fra R-plus' sorteringsanlæg.

R-plus forventer at kunne afsætte den organiske restfraktion som brændsel til flere aftagere:

- Schwartze Pumpe (SVZ)
- Højovne
- Cementindustrier
- Alternative forgasnings- og pyrolyseanlæg
- udvalgte kraftværker



Figur 10. Mineralsk restprodukt fra R-plus' sorteringsanlæg.

Vi vurderer, at det organiske restprodukt sandsynligvis vil kunne afsættes til Schwartze Pumpe, cementindustrien eller alternative forgasnings- og pyrolyseanlæg, mens hverken højovne eller udvalgte danske kraftværker vil modtage den organiske restfraktion som brændsel på grund af dens indhold af tungmetaller.

R-plus regner med, at den mineralske fraktion i Tyskland vil kunne

- deponeres i gamle saltminer
- benyttes til vejfyld
- anvendes som sand i fluid bed anlæg

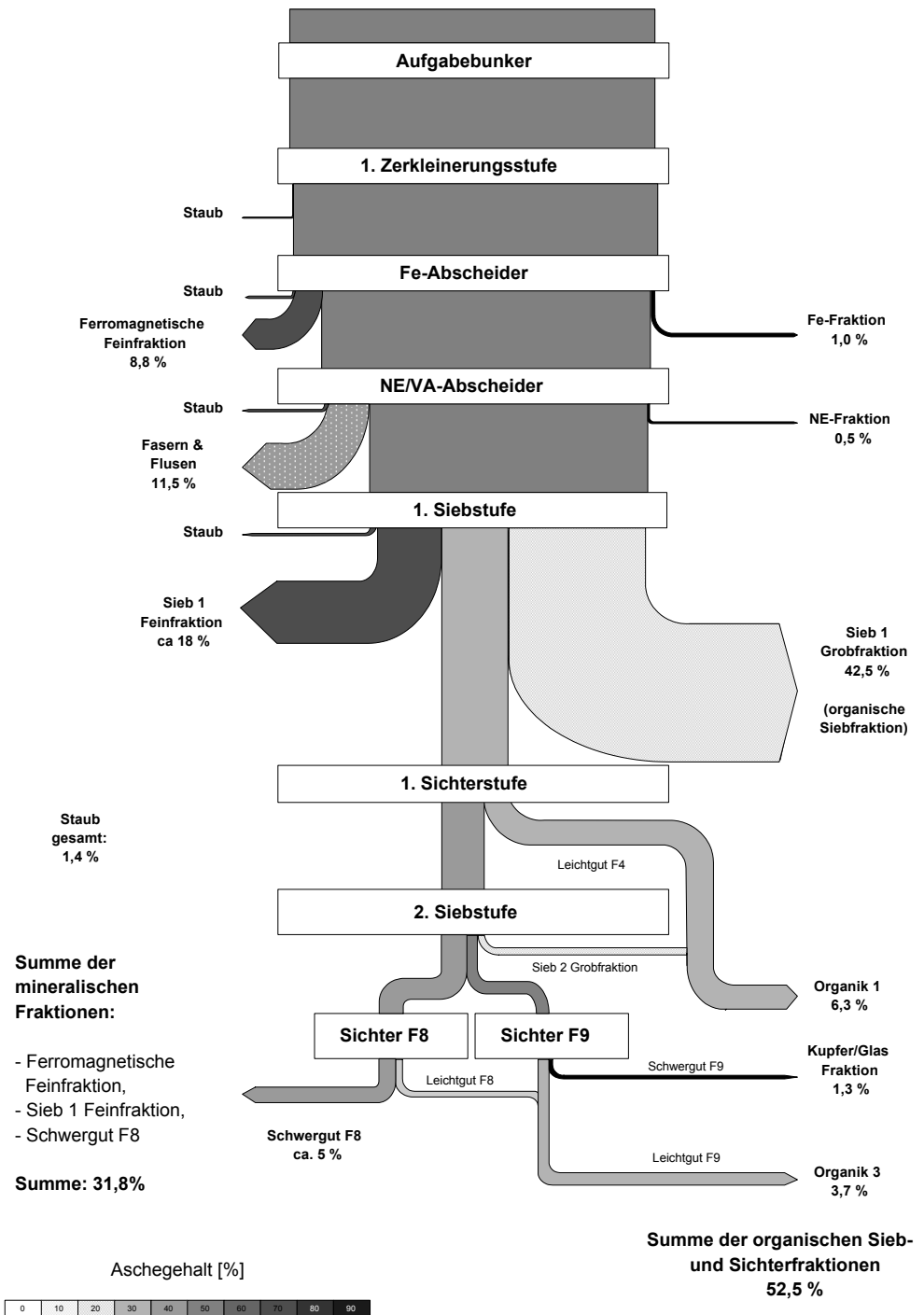
Udgifterne til deponi i gamle saltminer vil udelukkende være transportomkostningerne.

På grund af den meget brede partikelstørrelsesfordeling vurderer vi dog, at den mineralske fraktion ikke vil kunne anvendes fluid bed anlæg. Indholdet af tungmetaller i denne fraktion gør den også uegnet til vejfyld, fordi tungmetallerne ikke er immobiliseret ved en smeltning/glasifisering.

### **8.2.1 Udvasningsegenskaber**

Der foreligger ingen analyser af udvasningsegenskaberne for den mineralske fase, der sandsynligvis skal vitrificeres, før den vil kunne opnå de udvasningsegenskaber, der er nødvendige for at den kan anvendes til vej- eller bygge materialer.

8.3 Massebalance



Figur 11: Massebalance for R-pl us' mekaniske sorteringsanlæg til shredderaffald .

## 9. Økonomi

### 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Udgifterne til etablering af anlægget er svære at fastlægge, da det oprindeligt ikke levede op til de kontraktmæssige krav. Siden er anlægget er blevet ombygget for et betydeligt beløb.

### 9.2 Udgiftsstruktur

Nedenstående forudsætninger og data er anvendt i forbindelse med et skøn over behandlingsprisen. Alle data er opgivet af R-plus med undtagelse af rentefod, lønninger samt priser på el og varme, der er tilpasset danske forhold.

Udgiftsstrukturen for et nyt anlæg til 32.000 t SHR/y svarende til 8.000 h/y ser således ud:

Anlægsstørrelse:	32.000 t SHR/år
Investering ekskl. bygninger:	9.500.000 DKK
Rentefod:	7 % p.a.
Tilbagebetalingstid:	7 år

#### Driftsudgifter

Gennemsnitlig løn til personale <sup>1</sup> :	300.000 DKK/person	5 personer
Andre driftsudgifter:	570.000 DKK/år	
Elektricitet:	390 DKK/MWh	1.000 MWh/år

Vedligehold og reparation:	
Normalt maskineri	9,6 % af investering

Udgifter til forsikringer er ikke inkluderet.

#### Skønnede behandlingsomkostninger

En økonomiberegning giver følgende resultat:

Kapitaludgifter:	55 DKK/t
Driftsudgifter:	110 DKK/t

Den endelige behandlingspris vil være afhængig af anlægsplacering, faciliteter til stede, valgte bygningsstandarder osv. og den endelige pris, som vil kunne opnås for anlægget efter forhandlinger. Behandlingsprisen skønnes at blive 165 DKK/t shredderaffald for et turn-key anlæg.

---

<sup>1</sup> Forudsætning: Personale på shredder-anlægget servicerer delvist sorteringsanlægget, så der kun er behov for 5 personer, der arbejder i treskift.



Behandlingsomkostningerne for anlæg med en højere kapacitet på f.eks. 90.000 t SHR/år vil blive noget lavere.

# 10. Konklusioner og anbefalinger

## 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

R-plus' koncept er særdeles velegnet til den danske affaldsstruktur, idet det øger kvaliteten i behandlingen af shredderaffald, så kun den mineralske fraktion ikke umiddelbart kan genanvendes. Kapaciteterne af anlæggets delprocesser skal dog tilpasses sammensætningen af dansk shredderaffald.

For at passe til den danske forhold bør det mineralske restprodukt smeltes for at binde tungmetaller. Dette kan evt. gøres ved at blande den mineralske og den organiske fraktion og smelte asken i en passende termisk proces.

Problemet med genanvendelse af ferromagnetiske småpartikler er ikke løst.

## 10.2 Udgiftsstruktur

Den forventede behandlingspris på R-plus anlæg er 165 DKK/t for et anlæg med en kapacitet på 32.000 t shredderaffald/y.

## 10.3 Affaldets udnyttelsesgrad

På trods af det lave metalindhold i udgangsmaterialet er anlægget i stand til at genvinde stort set alle frie metaller på en form, så de kan afsættes til en positiv pris. R-plus har flere muligheder for at afsætte den organiske rest, så energien udnyttes. Den mineralske rest vil enten kunne deponeres i gamle saltminer, benyttes til vejfyld eller anvendes som sand i fluid bed anlæg.

## 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Ingen specielle. Af hensyn til arbejdsmiljøet bør anlægget være forsynet med lukkede transportsystemer med afsugning ligesom støjende udstyr bør afskærmses.

## 10.5 Muligheder for know-how-formidling

R-plus Recycling GmbH  
Heilbronner Strasse 13  
D-75031 Eppingen  
Tyskland

# Logbog for besøg hos S+S

## Indhold

1	GENERELLE OPLYSNINGER	216
2	KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	218
3	OBSERVATIONER UNDER BESØGET	221
4	KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	223
5	MILJØMÆSSIGE FORHOLD	224
6	ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	225
7	BESKRIVELSE AF INPUT	226
8	BESKRIVELSE AF OUTPUT	227
9	ØKONOMI	228
10	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	229

# 1 Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Detektering og fraseparering af metaller fra affaldsstrømme

## 1.2 Tilført affald

Tung fraktion fra shredder anlæg

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### **Licenshaver**

S+S Metallsuchgeräte und Recyclingtechnik GmbH  
Regener Straße 130  
D-94513 Schönberg

### **Kontaktperson**

Werner Neumüller

Telefon: +49-8554-308-0

Fax:

E-mail: [info@ss-gmbh.de](mailto:info@ss-gmbh.de)

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

RGW Recycling und Rückgewinnungs GmbH

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

RGW Recycling und Rückgewinnungs GmbH  
Siemensstraße 44  
D-84109 Wörth

## 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

At udvinde metaller fra skrot til genanvendelse

## 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

2,5 t/time

### 1.8 Byggeår og status for projektet

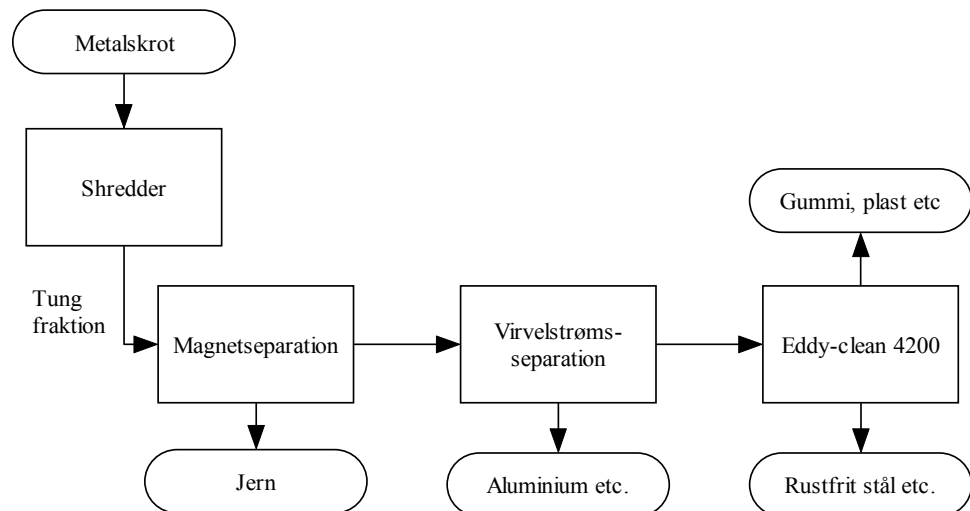
S+S startede for over 15 år siden. Firmaet producerer udover metalseparatorer udstyr til farvesortering af fx glasskår. S+S har 75% af markedet for sortering af glasskår i Tyskland.

Der er leveret mere end 140 metalseparationsenheder worldwide til behandling af træflis, container glasskår, fladglas, CRT-glas, elektronikaffald, plastgranulat/affald af en række typer og shredderaffald (6 installationer).

## 2 Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Proces

Under besøget blev shredderanlægget besøgt ved RGW se Figur 1.



Figur 1 Procesdiagram for RGW

### 2.2 Affald

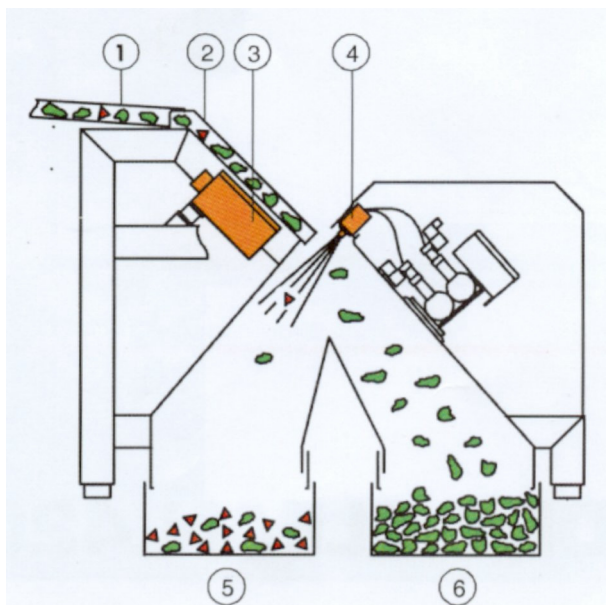
Affaldet som tilføres shredderanlægget er forskelligt metalskrot af mindre dimensioner end biler.

### 2.3 Forbehandling

Den tunge fraktion fra shredderen tilføres en overbåndsmagnet som fjerner jern. Herefter fjernes ikke jernmetaller (typisk aluminium) med hvirvelstrømsseparation.

### 2.4 Separation med S+S udstyr

Affaldet fra hvirvelstrømsseparationen tilføres S+S separationsudstyret. Udstyret består af en Eddy-Clean 4200 metalseparator med 1024 mm båndbredde. Et diagram er vist på Figur 2



Figur 2 1:transportbånd, 2:Føde transportbånd, 3:detektionsenhed, 4:Dyser, 5:Metaller, 6:Metalfri rest

Princippet virker ved at affald doseres til et hurtigløbende transportbånd (1) så alle partikler ligger i et enkelt lag. Over føde transportbåndet (2) sidder en detektorenhed med en række detektorer (3). Når en metalpartikel passerer en detektor opstår en strøm hvorefter en computer registrerer partiklens position og hastighed. Senere passerer et arrangement med dyser (4) og her aktiveres den dyse som er udfor metalpartiklen. Metalpartiklen blæses dernæst væk med trykluft fra de andre partikler og ender i en separat opsamlingsbeholder (5).

Detektorenheden består af to rækker forskudte detektorer. I den mest følsomme version er der 32 mm mellem detektorelementerne i en række. Da de to rækker er forskudte vil en passerende metalpartikel give signal af forskellig størrelse fra de to elementer i de to rækker hvorved den nøjagtige position og hastighed kan bestemmes med en meget større nøjagtighed end de 32 mm der er mellem detektorerne i hver række. Således kan detekteres jernbaseret materiale ned til 2 mm og aluminium ned til 3 mm partikelstørrelse. Dyserne er placeret med ca. 16 mm afstand, idet der er 64 stk. for en 1024 mm båndbredde. Da hver dyse består af en række små huller vil man altid kunne fjerne alle detekterede metalpartikler som er større end følsomheden (2-3 mm), men hvis der samtidig forekommer ikke ledende materiale (plast etc.) over det dyseelement på 16 mm der aktiveres vil det ikke ledende materiale bliver fjernet sammen med metallet. Således opnås altid et meget højt metaludbytte og renhedsgrad af restfraktionen, men renhedsgraden af metalfraktionen kan godt være lavere idet noget ikke-ledende materiale kan blive revet med. Dette kan i øvrigt også forekomme med et større antal dyser hvis affaldet ikke er ordentligt neddelt eller plast, fibre mm hænger sammen med metalpartikler, stumper af filtrede ledninger etc.

Den maksimale partikelstørrelse som kan tilføres udstyret er 100 mm. En anden model MAG 4200 har en større følsomhed på ned til 0,6 mm partikler da dyserne er placeret i flere lag.

Til farvesortering af fx glas eller metaller efter farve kan leveres modellen "Spectrum" som i stedet for metaldetektor har et CCD farvekamera. Partikler >5 mm kan separeres efter valgte farver. Op til 16 maskiner kan fjernstyres via computer.

Der kan levere kombinerede systemer med flere detektorer. Fx er leveret et system med en metaldetektor og transparensdetektor til glasseparation

S+S udvikler og producerer selv dyser og detektorer.



## 3 Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 5/6 2002 fra kl. 14:00 til kl. 17:30.

### 3.2 Indsatsmaterialer behandlet under besøget

Type:

Mængde i t/h: ca.8 t/h \*

Kapacitetsudnyttelse: 300 %

\* EddyClean 4200 udstyret blev ikke udnyttet efter forskrifterne da der tilføres for meget affald så dette ikke lå i et enkelt lag men derimod i et meget tykt lag og endda med en delvis blokering i den ene side. Herudover var nogle stykker større end udstyrets anbefalede grænse på 100 mm (nogle op til 300 mm). Derfor blev en del organisk materiale medrevet men udstyret var stadig i stand til at fjerne hovedparten af metalstykkerne af rustfrit stål. Udstyret måtte også stoppes og startes af og til. Årsagen til denne driftsmåde var at der var ansat personale til at finsortere fraktionen med rustfrit stål og personalet kunne følge med til den meget forhøjede kapacitet. Umiddelbart må det betragtes som en mere optimal løsning at neddele metalkrottet til under den angivne grænse på 100 mm og dernæst dosere i et enkelt lag. Herved bør kunne opnås en så høj renhedsgrad af det frasorterede rustfrie stål at efter-sortering ikke er nødvendig, men det har man altså ikke valgt ved genvindingsvirksomheden.

### 3.3 Driftsforhold

Driftstid: ca. 8-12 timer/døgn ved det besøgte anlæg men med mange start og stop

Anbefalet driftstid for apparatur 24 timer/døgn

Forventet produktionstid: 8000 timer/år

Revisioner: 1 pr. år samt evt. kortvarig rengøring

Det skal bemærkes at dyser/ventiler kan klare 4-5 millioner pulser inden udskiftning

### 3.4 Output under besøget

Der produceredes samlet ca. 8 t/time af en blanding af rustfrit stål og ikke metallisk medrevet materiale som blev frasorteret manuelt, samt en restfraktion uden rustfrit stål.

### 3.4.1 Restprodukt

Restproduktet bestod af en blanding af gummi, fibre , andet ikke metallisk og mindre metalstykker som kobbertråde etc.

## 4 Kritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget blev følgende spørgsmål diskuteret:

1. **Er der forekomst af kondenserbare stoffer og forureninger i processernes forskellige trin; fx af tjære, sod, metaller, salte og oxider i pyrolyseovnens top, i gaskanaler eller i efterforbrændingskamre?**  
Støv kan samle sig i udstyret hvis det ikke holdes i kontinuerlig drift, men det er ikke særligt følsomt.
2. **Hvordan kontrolleres mængden af kondenserede stoffer, dvs. hvordan renses de kritiske procesafsnit for afsætninger?**  
Støv er normalt ikke et problem. Det kan dog være påkrævet med simpel rengøring for støv hvis anlægget ikke holdes i kontinuerlig drift.
3. **Hvilken kemisk stabilitet har restprodukter fra processen? Er de lagrings-stabile mht. tungmetaller og dermed egnet til deponering (data for standardudvaskningstests), eller lækker der tungmetaller, og skal de betragtes som miljøfarligt affald?**  
Ikke relevant for processen
4. **Findes der dioxiner (eller andre halogenerede organiske stoffer) i restprodukter eller evt. mellemprodukter som skal oparbejdes andetsteds?**  
Processen medfører ingen fysisk eller kemisk ændring af det behandlede materiale, ligesom der ikke udvikles varme hvorfor der ikke kan produceres dioxin

# 5 Miljømæssige forhold

## 5.1 Emissioner til luften

Der kan forekomme støvemissioner fra processen grundet jetpulserne der blæser metallerne væk. Støvemissionen kan nemt kontrolleres ved korrekt afskærmning og afsugning

## 5.2 Spildevandsudledning

Ingen

## 5.3 Støj

Støjniveauet kan være højt når der skydes jetpulser, hvorfor der bør afskærmes og bæres høreværn ved arbejde omkring udstyret.

## 5.4 Lugt

Der forekommer ingen lugt som følge af udstyret

## 5.5 Affaldsproduktion

Udstyret separerer en affaldsfraktion i en metalholdig fraktion og en ikke metalholdig fraktion. Afhængigt af de separerede fraktioners sammensætning og værdi vil de kunne sælges (fx metalfraktionen) eller må viderebehandles fx ved yderligere oparbejdning for restmetaller af lille partikelstørrelse, plastmaterialer mv. eller alternativt behandles i et termisk anlæg eller deponeres.

## 5.6 Samlet dioxinmission

Der produceres ingen dioxin

## 6 Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Der kan afgives støv fra affaldet hvis udstyret ikke er tilstrækkeligt afskærmet eller forsynet med tilstrækkelig afsugning. Forholdsreglerne er af samme type som for andre mekaniske processer i et shredder anlæg

### 6.2 Internt støjniveau

Høreværn er påkrævet

### 6.3 Tungmetalbelastning

Ved ukorrekt afskærmning vil der kunne afgives tungmetalholdigt støv

### 6.4 Dioxinbelastning

Anlægget producerer ikke dioxin

### 6.5 Andet; fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Der er ingen lugtgener i forbindelse med udstyret anden end den lugt der kan komme fra affaldet.

## 7 Beskrivelse af input

Besøget var for kort til at beskrive input i detaljer. Det tilførte affald er den tunge fraktion fra shredder anlægget.

Anlægget bruger ca. 0,5 kWh el og herudover ca. 1m<sup>3</sup> trykluft/min, 6bar. Trykluften skal være rensset for at undgå tilstopning af dyser.

## 8 Beskrivelse af output

Besøget var for kort til en detaljeret beskrivelse af output.

Anlægget separerer det tilførte affald i en fraktion med alle metalstykker med partikelstørrelse over anlæggets separationsgrænse og i en fraktion uden metalstykker.

### 8.1 Metaller

Metalfraktionen bestod primært af rustfri stål emner af størrelse mindre end 300 mm

### 8.2 Granulat/restprodukt

Restfraktionen bestod af gummi, plast fibre mm.

# 9 Økonomi

## 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Nedenstående beregning er for anvendelse i Danmark.

Investeringen i en Eddyclean 4200 til metalseparation med 1024 mm båndbredde udgør ca. 75.000 Euro svarende til ca. 560.000 DKK.

Prisen for en Mag 4200 til separation efter farve er ca. 86000 Euro svarende til 645.000 DKK.

Dertil skal lægges en vibrationsføder som er en mindre udgift.

Nedenstående data er anvendt i beregningen af en skønnet behandlingspris.

Bemanding:	1 person.
Strømforbrug:	312 MWh/år.
Vedligehold og reparation:	72.500 DKK/år.

## 9.2 Indtægter

Her vil indtægten variere med affaldets sammensætning

Hvis der fx produceres en 1,5% metal med en værdi på 3 DKK/kg (fx aluminium) af den tilførte mængde fås en indtægt på 45 DKK/t

Hvis man opkoncentrerer det tilførte shredderaffald inden tilførsel til udstyret så metalkoncentration er væsentligt højere fx ved at frasigte fine fraktioner og fjerne det magnetiske materiale vil indtægten/t blive langt højere

## 9.3 Behandlingsomkostninger

Der er kun udført en beregning af kapitaludgifter og driftsomkostninger

Beregningen viste følgende udgifter.

Kapitaludgifter:	6 DKK/t
Driftsudgifter:	27 DKK/t
Indtægter:	varierer med affald

Hvis der produceres 1,5% metal med en værdi på 3 DKK/kg (fx aluminium) svarende til en indtægt på 45 DKK/t fås et overskud på 13 DKK/t tilført affald. (behandlingspris = -13 DKK/t)

Det skal bemærkes at denne type separationsudstyr vil kunne erstatte andet udstyr og arbejdsgange i genvindingsindustrien hvorved opnås et endnu større overskud.



## 10 Konklusioner og anbefalinger

### 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Udstyret er velegnet som del af oparbejdningsprocesser hvor metaller ønskes fjernet fra affaldsstrømme

### 10.2 Omkostningsstruktur

Behandlingsomkostningerne varierer med affaldets sammensætninger. Da kapitalomkostninger og driftsomkostninger er lave (32 DKK/t) kan opnås overskud ved behandling af mange metalholdige affaldsfraktioner herunder shredderaffald.

### 10.3 Affaldets udnyttelsesgrad

Anlægget kan køre i døgndrift med 2-3 årlige serviceeftersyn og korte stop til eventuel rengøring.

### 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Der er ingen miljømæssige problemer med processen ved korrekt afskærmning mht. støj og støvemission.

### 10.5 Muligheder for knowhow-formidling

Knowhow-formidling kan ske via S+S.



## Logbog for besøg hos Salyp i Ypres, Belgien

### Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	232
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	234
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	239
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	241
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	242
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	243
7. BESKRIVELSE AF INPUT	244
8. BESKRIVELSE AF OUTPUT	245
9. ØKONOMI	246
10. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	247

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Anlægget er et demonstrationsanlæg til genvinding af plast og plastskum fra forskellige blandede plastaffaldsstrømme og fra shredderaffald.

## 1.2 Tilført affald

- Shredderaffald

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### Licenshaver

Salyp nv.

### Kontaktperson

Salyp nv  
Oostkaai 62  
8900 Ypres  
Belgien

Tlf.: +32 57228044  
Fax: +32 57228049  
E-mail: [info@salyp.com](mailto:info@salyp.com)  
Hjemmeside: [www.salyp.com](http://www.salyp.com)

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

Anlægget ejes af Salyp.

Kontaktpersoner: Ivan Vanherpe  
Wilfried Mortier

## 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Oostkaai 62  
8900 Ypres  
Belgien

## 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

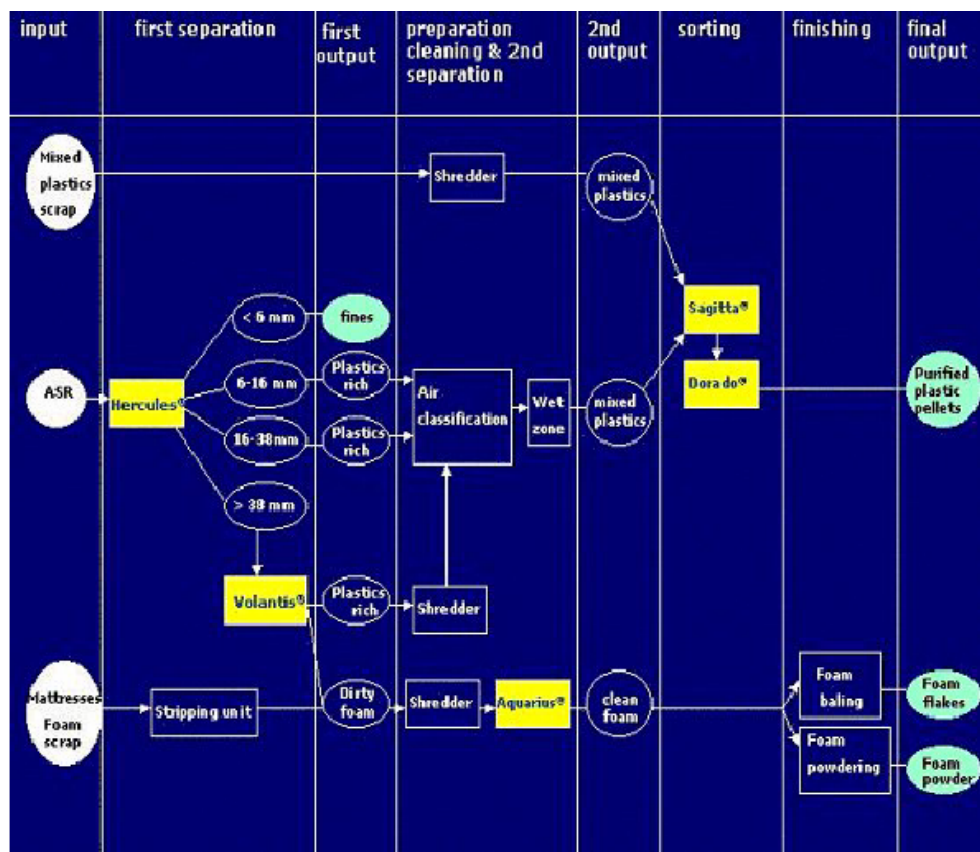
Anlægget er opbygget som et demonstrationsanlæg, med det formål at vise potentielle kunder, at genvinding af visse plasttyper er muligt og rentabelt. Til det formål benyttes anlægget med henblik på at sælge knowhow og udstyr.

## 1.7 Kapacitet for det besøgte anlæg

Anlæggets kapacitet er 5 – 8 t/h afhængig af inputtets egenskaber.

## 1.8 Byggeår og status for projektet

Demonstrationsanlægget, "The Salyp ELV Centre" er færdigbygget i 2002, men udviklingen i forbindelse med genvinding af plast, skumplast og oxider har stået på siden 1997. Demonstrationsanlægget er opbygget således, at forskellige ønsker fra interessenter kan afprøves. Anlægget er således udlagt til behandling af blandet plastaffald, madrasser, elektronikaffald og shredderaffald.



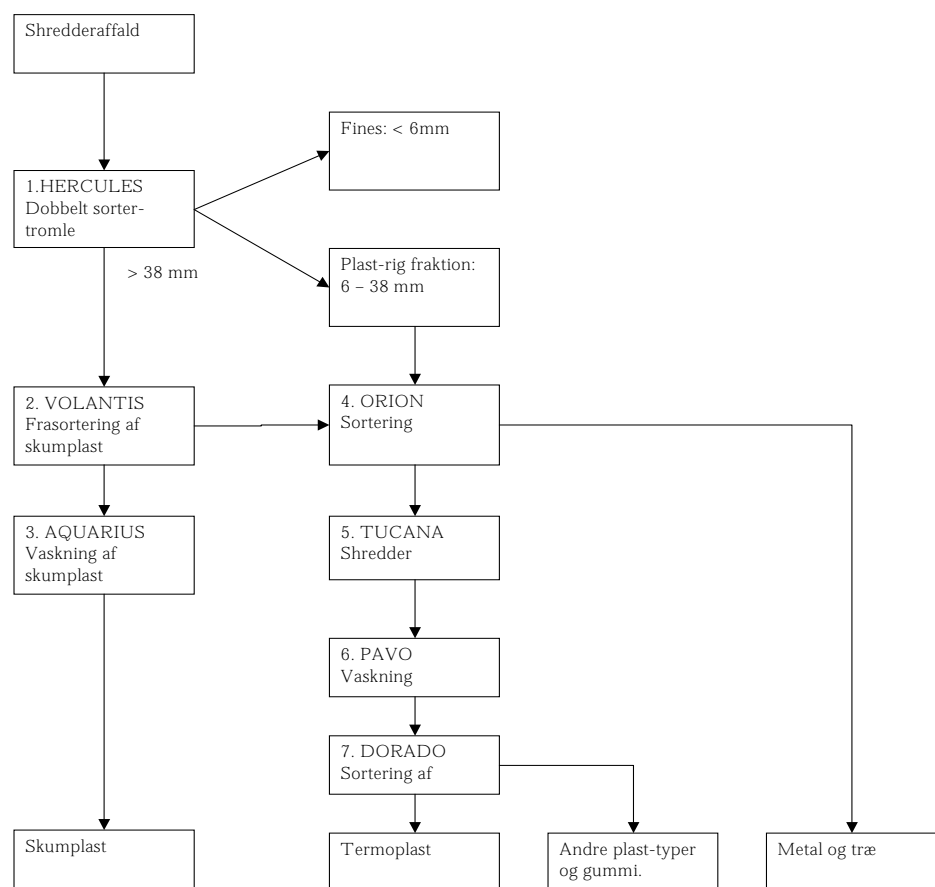
Figur 1. Oversigtsdiagram for demonstrationsanlægget.

I det følgende vil kun proceskæden til behandling af shredderaffald blive beskrevet.

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Procesdiagram

Den af Salyp anbefalede og foreslåede samt i det følgende gennemgåede proceskæde til behandling af shredderaffald er vist på Figur 2.



Figur 2. Procesdiagram til behandling af shredderaffald.

De enkelte delprocesser vil blive nærmere gennemgået i det følgende, hvor også de af Salyp anslåede mængder for shredderaffald fra bilskrotning vil blive anført.

### 2.2 Affald

Den på Figur 2 viste procesrækkefølge er specielt designet til behandling af shredderaffald, som det måtte falde hos shredderoperatøren. Erfaringerne er hos Salyp dog størst i behandling af shredderaffald fra shreddning af biler.

## 2.3 Forbehandling

Ingen forbehandling er normalt nødvendigt. Shredderaffaldet kan behandles, som det måtte foreligge hos shredderoperatøren i stykstørrelse op til 200 mm.

## 2.4 Proces(ser)

### 2.4.1 HERCULES

HERCULES er bygget som to tromler oven på hinanden for at spare plads. Tromlerne roterer og er stillet i en vinkel på nogle grader med horisonten for at materialet kan bevæge sig gennem tromlerne under rotationen. Den øverste tromle har en regulerbar sigte, medens den neste har en fast sigte med 6,35 mm diameter. Hele konstruktionen kan indkapsles for at forhindre støv i at trænge ud i lokalet. Transportbånd er forudset til at tilføre materiale og fjerne materialestrømmene efter sortering.



Figur 3. HERCULES

Input: Shredderaffald < 200 mm.

Output: Fire strømme:

1. < 6mm:	Ingen behandlingsmetode
2. 6 – 16 mm:	=> Orion
3. 16 – 38 mm:	=> Orion
4. > 38 mm:	=> Volantis



Figur 4. Output fra HERCULES.

Af de fire outputs går output 4 videre til VOLANTIS, outputs 2 og 3 går til ORION, og output 1, fines < 6 mm har man på nuværende ingen metode til genvinding.

#### 2.4.2 VOLANTIS

VOLANTIS modtager den grove fraktion, partikler > 38 mm fra HERCULES. I denne fraktion findes næsten alt skumplast, der ved en særlig teknik frasorteres i VOLANTIS.

Den særlige teknik består i, at inputmaterialet accelereres på et transportbånd, hvor der ved enden findes en rulle, der komprimerer materialet. Især Plastskummet komprimeres her, og derved får skummet en ekstra acceleration i forhold til andre svært komprimerbare materiale. Inputmaterialet deles derved i to fraktioner: En fraktion kun bestående af skumplast og en fraktion bestående af andre plasttyper og gummi mv.



Figur 5. Output fra VOLANTIS.

Skumplasten ledes videre til AQUARIUS, og den anden fraktion ledes videre til ORION.



### 2.4.3 AQUARIUS

AQUARIUS modtager fra VOLANTIS det sorterede skumplast, der endnu er snavset, og derfor ikke kan genbruges uden rensning eller vaskning. AQUARIUS er en vaskemaskine, der ved flere efter hinanden følgende sammentrykninger og udvidelser af materialet i en blanding af vand og sæbe renvasker plastskummet. Efterfølgende tørres materialet, der derefter kan afsættes og genbruges.



Figur 6. Output fra AQUARIUS.

### 2.4.4 ORION

ORION modtager fraktionerne 2 og 3 fra HERCULES og den plastrige fraktion fra VOLANTIS. Træ og metal frasortes disse inputs og resten, som er rig på plast, ledes videre til TUCANA.

ORION er leveret af SSE, som har et samarbejde med Salyp om markedsføring af denne proces. Teknikken vil ikke her blive nærmere beskrevet, men der henvises til logbogen fra besøg hos SSE.

### 2.4.5 TUCANA

TUCANA er en shredder, der er specielt bygget til at neddele et materiale, der er rigt på plast til en størrelse på 25 – 35 mm.

Outputtet ledes til PAVO.

### 2.4.6 PAVO

PAVO er en vaskemaskine, der renser den snavsede plast. Dette sker i en tromle på ca. 1 m diameter og en længde på ca. 2,5 m. Heri udsættes det let forureneede plast for en højtryksspuling, som er sammenlignelig med processen i et bilvaskeanlæg.

### 2.4.7 DORADO

I DORADO føres materialet frem via et transportbånd til et panel af infrarøde lamper, hvor materialet opvarmes til temperaturer mellem 90 og 140 °C afhængigt af hvilke plasttyper, man ønsker at udsortere. Termoplast blødgøres ved disse temperaturer, og ved passage af et efterfølgende sæt af ruller med små riller trykkes de ønskede plasttyper fast i disse ruller og frasorteres.



Figur 7. DORADO.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-07-27 fra kl. 09:00 til kl. ca. 15.

### 3.2 Tilførte materialer behandlet under besøget

Anlægget blev demonstreret for os under besøget med indsats af Italiensk shredderaffald i HERCULES. Shredderaffaldet lignede shredderaffald, som det også forefindes i Danmark.

Til demonstration af genvinding af termoplast i ORION – DORADO havde man dog fundet et andet udgangsmateriale, som ikke var nærmere defineret, men som sandsynligvis stammede fra elektronikskrot.

### 3.3 Driftsforhold

Anlægget er et demonstrationsanlæg, der kun er i drift i forbindelse med forsøg for potentielle kunder. Anlægget blev startet i forbindelse med vort besøg for at vise os dets formåen.

### 3.4 Output under besøget

Følgende output fra de forskellige procestrin kunne iagttages:

Output fra HERCULES:

1. Fines < 6mm	}	→	Disse outputs viderebehandles i ORION
2. 6 – 16 mm			
3. 16 – 38 mm			
4. > 38 mm	→	Viderebehandles i VOLANTIS	

Output fra AQUARIUS

1. Renset skumplast til genbrug.

Output fra ORION

1. Metal og træ	→	Viderebehandles i TUCANA
2. Plast		

Output fra DORADO

1. Termoplast til genbrug.
2. Andre plasttyper og gummi.

### 3.5 Restprodukter

Især fra AQUARIUS og i mindre grad fra PAVO vil der fremkomme et restprodukt bestående af spildevandsslams med et indhold af tungmetaller.

## 4. Kritiske delprocesser og driftsparametre

Under besøget og drøftelserne med Salyp blev der ikke identificeret egentlige kritiske delprocesser og driftsparametre.

## 5. Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

Delprocesser med emissioner til luften er:

- HERCULES i indkapslet udgave med etableret afsugning vil der være et mindre afkast til luften, der dog ved fornuftig filtrering ikke vil indebære nogen miljømæssig belastning af betydning for omgivelserne.
- AQUARIUS har en emission til luften, primært af damp fra tørringsprocessen.
- DORADO kan evt. forsynes med et filter til fjernelse af lugt, der kan fremkomme under den infrarøde opvarmning af materialet.

Der vurderes ikke at være nogen problemer med overholdelse af danske miljøkrav.

### 5.2 Spildevandsudledning

Spildevandsudledning findes fra delprocesserne:

- AQUARIUS, hvor skumplasten vaskes. Dette spildevand må formodes at indeholde tungmetaller. Vandforbruget er ca. 110 kg pr. time.
- PAVO, hvor termoplasten vaskes før sortering. Belastningen af tungmetaller forventes her ikke særlig høj, men vandet skal behandles i et rensningsanlæg. Vandforbrug ca. 110 kg pr. time.

Mængden af det udledte spildevand vil være op mod 220 kg pr. time. Desuden vil der fremkomme en mængde tungmetalholdigt slam. Denne mængde kan ikke på det grundlag, vi kender, kvantificeres.

### 5.3 Støj

Støj forventes ikke at give nogen belastning, der har nogen miljømæssig betydning.

### 5.4 Lugt

Der var ikke i bygningen, hvor anlægget var placeret eller uden for nogen lugt, der kunde identificeres med anlægget at spore. Dette selv om DORADO ikke var udstyret med filter til lugtfjernelse.

### 5.5 Affaldsproduktion

Affald fra processen er primært spildevandsslam, som dog ikke kan kvantificeres på grundlag af de oplysninger, vi er i besiddelse af.

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Der var ikke nogen støvbelastning af betydning i hallen. Dette selv om HERCULES ikke var indkapslet og forsynet med afsugning, som det forventes at ville være tilfældet i et egentligt produktionsanlæg.

### 6.2 Internt støjniveau

Det interne støj-niveau var lavt og vil med stor sandsynlighed kunne overholde danske krav.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Demonstrationsanlægget var meget rent. Der var ingen støv på gulvet, hvorfor det ikke forventes at et produktionsanlæg vil give problemer med støvbelastning og deraf følgende belastning med tungmetaller.

### 6.4 Andet - fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

Besøget var for kort til, at vi kunne foretage en detaljeret vurdering. Der var dog ingen mærkbare lugtgener under demonstrationen, men reparationsarbejde bør nok foretages med åndedrætsværn og evt. beskyttelsesdragt.

## 7. Beskrivelse af input

Billedet i Figur 1 viser det indsatsmateriale, der blev benyttet under demonstration af anlægget under vort besøg.



Figur 8. Indsatsmateriale. Shredderaffald fra Italien

Materialets sammensætning kunne ikke oplyses, men man mente, at det var fremkommet udelukkende fra shreddning af biler, som er det normale for de fleste shredder anlæg.



## 8. Beskrivelse af output

### 8.1 Generelt

Som det fremgår af Figur 2. Procesdiagram til behandling af shredderaffald, er der følgende outputs fra processen:

1. Fra HERCULES: Fines < 6 mm.
2. Fra AQUARIUS: Skumplast.
3. Fra ORION: Metal og træ
4. Fra DORADO: Termoplast samt andre plasttyper og gummi.

Besøgets varighed gav ingen muligheder for at analysere eller vurdere disse outputstrømme nærmere, hvorfor den følgende kvantificering udelukkende er baseret på oplysninger modtaget af Salyp under besøget. Der kan således ikke på grundlag af de følgende oplysninger opstilles nogen generel massebalance for shredderaffald. Massebalancen for dansk shredderaffald vil sikkert afvige en del på grund af shredderformaterialets noget anderledes sammensætning i Danmark.

### 8.2 Fines

Fines < 6 mm, som er output fra HERCULES, udgør ca. 50 % af shredderaffaldet. Fines består af ca. 50 % magnetisk materiale og ca. 50 % umagnetisk materiale.

Salyp erkender, at denne del endnu er problematisk at afsætte, men har formodninger om, at den magnetiske del kan afsættes til stålindustrien til genvinding af jern. Især hvis materialet briketteres, er der muligheder for afsætning.

### 8.3 Skumplast

Skumplast, som er output fra AQUARIUS udgør vægtmæssigt ca. 4 % af shredderaffaldet. Den genvundne skumplast har en kvalitet, så den problem-løst kan afsættes til genbrug.

Volumenmæssigt udgør dette output naturligvis en anseelig andel.

### 8.4 Metal og træ

Metal og træ samt diverse er output fra ORION. Der er ikke givet nogen nærmere beskrivelse af dette output og dets evt. værdi og genvindingsmuligheder.

### 8.5 Termoplast og andre plasttyper samt gummi

Termoplast er outputtet fra DORADO. Restmaterialet efter frasortering af termoplast er primært andre plasttyper og gummi. Sammen med skumplast udgør disse outputs efter Salyps oplysninger op til 35% af shredderaffaldet.

## 9. Økonomi

### 9.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

Udgifterne til etablering af anlægget består dels i de i Figur 2 skitserede delprocesser, dels i bygninger og dels i de nødvendige forsyningsanlæg og spildevandsanlæg.

Salyp har udarbejdet et tilbud på leverance og opstilling af delprocesserne beskrevet i Figur 1. Dette tilbud lyder på 15.502.500 DKK.

Hertil kommer nødvendige bygninger, nødvendige forsyninger af el, vand mv.

Spildevandrensning er ikke inkluderet i ovennævnte investeringer.

### 9.2 Udgiftsstruktur

Nedenstående data og forudsætninger er anvendt i beregning af omkostningerne til behandling af shredderaffald i Salyp-processen.

Anlægsstørrelse:	35.000 t SHR/år
Driftstid:	7.000 h/år.
Investering ekskl. bygninger:	15.502.500 DKK
Rentefod:	7 % p.a.
Afskrivningsperiode:	7 år.

#### **Driftsomkostninger**

Gennemsnitlig løn til personale:	300.000 DKK/år.	20 mand.
Elektricitet:	390 DKK/MWh.	2.345 MWh/år.
Vedligehold og reparation:	9 % af investering pr. år.	

#### **Beregnete udgifter**

Under ovennævnte forudsætninger bliver de samlede behandlingsomkostninger pr. ton shredderaffald 320 DKK.

Der er heri ikke medregnet indtægter ved salg af genvundet materiale, ligesom besparelser ved mindre mængder materialer til deponering ikke er medregnet.

Hvis det tilførte affald indeholder 35% plast, som kan sælges for blot 1 DKK/t, vil "break even" være nået. På grund af det lave indhold af Fe og Al i affaldet vil salget af metaller kun bidrage meget lidt til den samlede økonomi.

## 10. Konklusioner og anbefalinger

### 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

Hvis processer af denne type skal behandle alt shredderaffald i Danmark, kræver dette, at der bygges 2 - 3 anlæg.

### 10.2 Affaldets udnyttelsesgrad

Salypprocessen kan efter udsagn fra Salyp genvinde ca. 35 % af shredderaffaldet i form af forskellige plasttyper.

Til gengæld står man tilbage med 65 % af shredderaffaldet, hvoraf fines udgør ca. 50 % af shredderaffaldet. Denne tilbageværende restdel vil have en meget lav brændværdi, der betyder, at der må tilføres energi, hvis denne restdel skal behandles termisk i en smelteproces. Det er vores vurdering, at det vil være svært at finde genanvendelsesmuligheder for denne restdel.

### 10.3 Økonomien

Processens økonomiske muligheder kan belyses ud fra følgende eksempel:

- Ved genvinding af 350 kg plast pr. tons shredderaffald spares ca. 236 kr. i deponeringsomkostninger pr. tons shredderaffald.
- Genvindingsomkostningerne er beregnet til 320 kr. tons shredderaffald.

Det kan herefter konkluderes, at hvis man kan opnå en pris på 0,24 kr. pr. kg genvundet plast, er break even opnået. I denne udregning er investeringerne i bygninger og spildevandrensningssystemer ikke medtaget.

For rimeligt rent genbrugsplast vil der sandsynligvis kunne opnås væsentlig højere priser.

Det skal dog hertil bemærkes, at Salyp ikke over for os har demonstreret, at deres proces kan genvinde plast i de nævnte mængder fra shredderaffald.

### 10.4 Miljømæssige problemstillinger

Processen hos Salyp medfører ikke direkte væsentlige miljøproblemer, men indirekte kan man være bekymret for, om processen efterlader en restdel, der fortsat skal deponeres.

### 10.5 Muligheder for know-how-formidling

Salyp nv  
Oostkaai 62  
8900 Ypres  
Belgien

Tlf.: +32 57228044  
Fax: + 32 57228049  
E-mail: [info@salyp.com](mailto:info@salyp.com)

# Logbog for besøg hos Separation Systems Engineering GmbH (SSE)

## Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	250
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	252
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	255
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	257
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	258
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	259
7. BESKRIVELSE AF INPUT/OUTPUT	260
8. ØKONOMI	265
9. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	267

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

Maskiner til mekanisk sortering af partikulært affald.

## 1.2 Tilført affald

SSE's maskiner kan sortere fx. glas, mineraler, metaller, plastik, fødevarer.

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

### Licenshaver

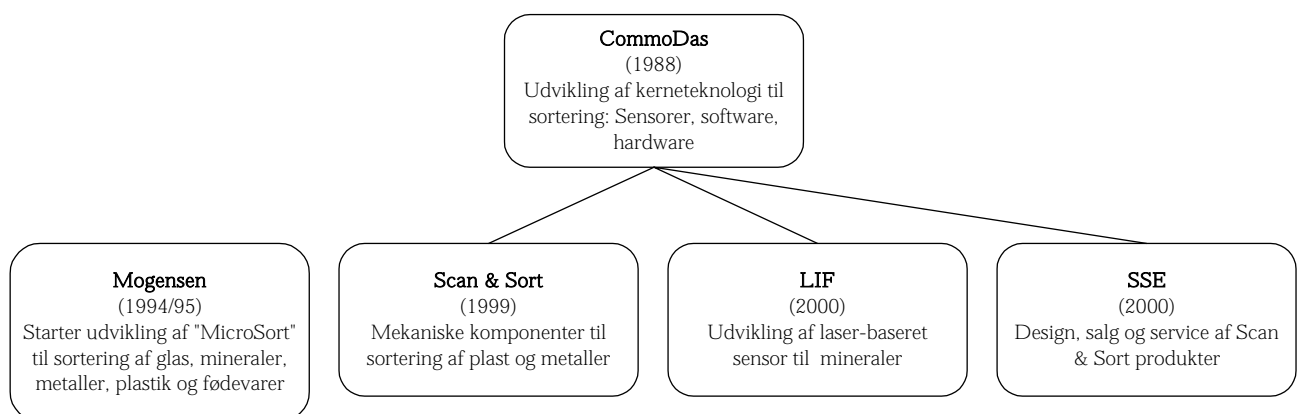
Separation Systems Engineering GmbH (SSE)  
Rosengarten 10  
D-22 880 Wedel  
Tyskland

### Kontaktperson

Eric van Looy, Managing Director  
Telefon: +49 4103 80 89 870  
Fax: +49 4103 80 89 877  
E-mail: [info@metall-sse.de](mailto:info@metall-sse.de)

## 1.4 Ejerforhold

SSE er en del af CommoDas koncernen:



der udvikler og leverer avanceret sorteringsudstyr.

### 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Vi besøgte SSE's og Scan & Sorts administration, teststation og produktionsfaciliteter i Wedel, Tyskland.

### 1.6 Virksomhedens formål og idégrundlag

SSE designer, sælger og yder service af Scan & Sort maskiner. Til metalsortering benytter SSE en kombination af metaldetektorer og farvescannere til identifikation.

CommoDas gruppen har i alt 60 ansatte og forsker i sensorer, elektronik og software til sortering af alle typer affald og produktstrømme. SSE markedsfører færdige, kundetilpassede løsninger.

### 1.7 Referencer

SSE har solgt 26 sorteringslinier i Europa (GB, NL, D, DK, FI, E, FR, N) til sortering af

- shredderaffald
- rustfrit stål fra andre metaller
- tungmetaller 20-100 mm
- tungmetaller 4-20 mm
- tungmetaller 0-30 mm
- metaller fra affald
- metaller fra affald/sten

### 1.8 Byggeår og status for projektet

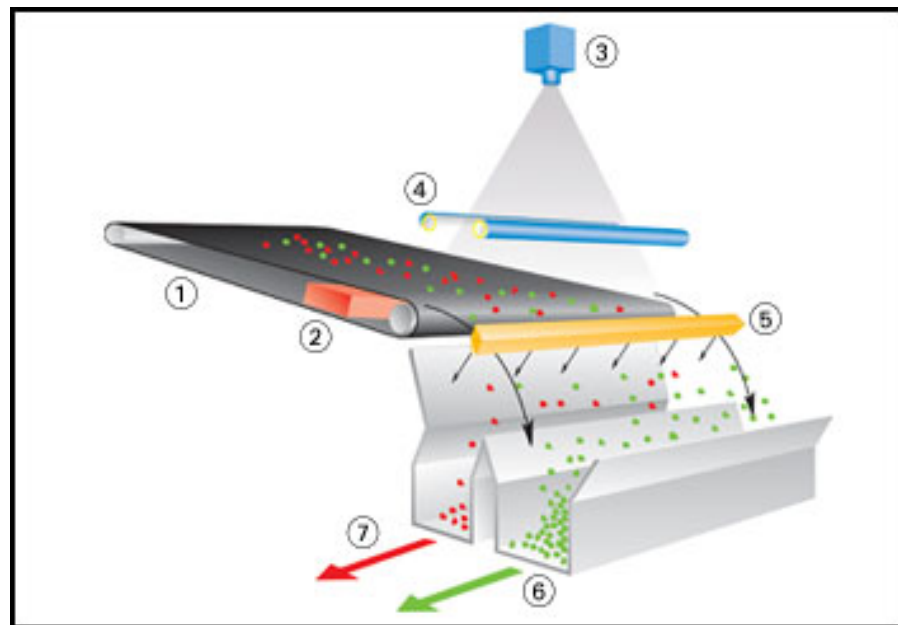
Anlæggene er leveret og idriftsat siden 2000-09.

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Maskiner

SSE leverer følgende sorteringsmaskiner:

- "MagnoSense" sorterer metaller fra ikke-metaller.
- "SpectraSense" er et intelligent system, der kan sortere efter kriterier som: form, størrelse, lysreflektion og efter sand farve. SpectraSense kan sortere partikler ned til 1 mm.
- "CombiSense" arbejder både metaldetektorer og farvekameraer og kan fx sortere metal/ikke-metal, kobber, messing, rustfrit stål, bly, aluminium, zink og magnesium.
- "Finder" er en mere kompakt og billig løsning til sortering af alle metaller fra fx slagge fra affaldsforbrænding.



Figur 1. Princip-skitse af SSE's Metal "X" MagnoSense, SpectraSense og CombiSense.

1. Fødebånd
2. Metal sensorer
3. Farvekamera (scanner)
4. Belysning
5. Luftdyser m. magnetventiler
6. Hovedstrøm
7. Frasorteret materiale

MagnoSense og Finder har udelukkende metaldetektorer, SpectraSense kun kameraer og CombiSense begge typer sensorer.



Metalsensorerne har i de nuværende modeller en indbyrdes afstand på 3,2 mm, som forventes at blive 1,5 mm i fremtidige applikationer. Den kortere afstand vil betyde, at endnu mindre partikler vil kunne detekteres og sorteres. Den største udfordring ligger i følge SSE i den efterfølgende separation af partikler.

Dyserne, der er udviklet af CommoDas er state-of-the-art, fungerer efter samme princip som dyserne i "boble jet" printere og er meget driftssikre. Den forventede levetid er ét år.

Affaldet transporteres til sorteringsmaskinen ved hjælp af rysterender og til sidst et transportbånd med en hastighed på 3 m/s.

I alle maskiner indgår en computer med meget hurtig software, der beregner den forventede placering af hvert emne, der skal frasorteres. Ud fra størrelsen af emnet beregnes, hvornår og hvor længe en given luftdyse skal åbnes.

Flere sorteringsmaskiner kan styres af én computer. For eksempel Metal "X" Finder og MagnoSense udstyres med en "post picker", der sorterer metaller efter fx. farve.

CommoDas-gruppen introducerer snart en videreudviklingen "MultiSense" af CombiSense. MultiSense kan arbejde med flere sensorer samtidigt og er forberedt for en hvilken som helst type sensor. Desuden udvikles i øjeblikket maskiner til frasortering af metaller fra husholdningsaffald før forbrænding.

## 2.1.1 Kapacitet

Kapaciteten af Metal "X" 600 og 1200 afhænger af affaldets størrelsesfordeling og vægtfylde.

Renheden af de frasorterede strømme er 93-98 %

Tabel 1. Kapacitet af Metal "X" 1200 ved sortering af metaller fra blandet affald.

Størrelse [mm]	Metal "X" 1200 Kapacitet [t/h]
0 - 10	1 - 1,5
10 - 50	5 - 8
50 - 100	10

Tabel 2. Kapacitet af Metal "X" 600 ved sortering af gråt metal fra blandet metal.

Størrelse [mm]	Metal "X" 600 Kapacitet [t/h]
2 - 5	< 3
10 - 50	3 - 5
50 - 100	< 8

## 2.2 Affald

SSE har leveret sorteringsudstyr til

- shredderaffald
- rustfrit stål fra andre metaller
- tungmetaller
- metaller fra affald
- metaller fra affald/sten

### 2.3 Forbehandling

Affaldet skal være partikulært og fritflydende. Den bedste sortering fås, når partikelstørrelsesfordelingen er snæver.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-06-03 fra kl. 12 til kl. 16.

### 3.2 Tilførte materialer behandlet under besøget

SSE's Metal "X", CombiSense 1200 blev demonstreret på tre affaldsstrømme:

- Shredderaffald – sigtet fraktion > ca. 10 mm
- Blanding af messing/kobber-skrot og gråt metal - ca. 2-20 cm
- Blanding af messing- og kobber-skrot - ca. 2-20 cm

Et mindre forsøgsanlæg (Metal "X" SpectraSense) sorterede:

- Blanding af kobber og aluminium – ca. 2-3 mm

### 3.3 Driftsforhold

#### 3.3.1 SSE's Metal "X", CombiSense

Driftstid: Demonstrationen var kortvarig (få minutter).



Figur 2. SSE's demonstrationsanlæg: Metal "X" CombiSense. Indføddingen sker manuelt øverst til højre på rysterenden.

### 3.3.2 Pilotanlæg, Metal "X" SpectraSense

Driftstid: Anlægget blev før, under og efter besøget benyttet til optimering af driftsparametre til sortering af en Al/Cu-blanding (2-3 mm).



Figur 3. Udsorterede produkter (Cu og Al) fra Metal "X" SpectraSense. Tilfældig test-kørsel.

## 4. Kritiske delprocesser og driftsparametre

SSE's teknologi er meget robust og har vist sig at fungere under realistiske betingelser fx hos H.J. Hansen Miljøsystem i Odense.

Det er vigtigt, at affaldet er fritflydende og de enkelte partikler er adskilt fra hinanden, før det møder de første sensorer. Anlæggene er derfor udstyret med lodret pegende dyser umiddelbart før metalsensorerne.

På grund af luften fra de dyser, der blæser på de partikler, der skal frasorteres, er der risiko for støv inde i selve sorteringsmaskinen. Støvet kan sætte sig på kameraer og andet følsomt udstyr. Det er derfor vigtigt, at luften suges væk på en hensigtsmæssig måde i sorteringsmaskinen. SSE arbejdede på at løse dette relativt enkle problem.

Den højeste renhedsgrad af produktstrømmene fås, hvis partikelstørrelsesfordelingen er snæver, men maskinerne kan sagtens sortere affald med forskellig størrelse.

## 5. Miljømæssige forhold

### 5.1 Emissioner til luften

Da sorteringsmaskinerne vil blive udstyret med passende udsugning i de centrale dele, vil støvemissionen være fuldt acceptabel.

### 5.2 Spildevandsudledning

Ingen.

### 5.3 Støj

Placeres sorteringsanlæggene i lukkede bygninger vil anlæggene kunne overholde danske krav til støj-emission.

### 5.4 Lugt

Der forventes ikke problemer med at overholde grænser for lugt-emissionen, hvis støv fra anlægget suges bort og fanges i et filter, før luften udsendes.

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### 6.1 Støvbelastning

Det er vigtigt, at sorteringsanlæggene er udstyret med en effektiv punktudsugning, hvor produktstrømmene forlader maskinen. Transportsystemer bør være i lukkede anlæg med udsugning for at forhindre støv i arbejdsområdet.

### 6.2 Internt støjniveau

Støj fra vibrationstransportører og luftdyser gør det nødvendigt, at driftspersonale bærer høreværn.

### 6.3 Tungmetalbelastning

Med den korrekte udsugning og ventilation forventes støv- og dermed tungmetalbelastningen ikke at være et problem.

### 6.4 Andet - fx lugtgener, vilkår i forbindelse med reparationsarbejde mv.

På grund af aflejringer af støv bør driftspersonale bære handsker og støvmaske under reparationsarbejder.

## 7. Beskrivelse af input/output

### 7.1 Demonstration af Metal "X", CombiSense 1200

Input under demonstrationskørslen var:

1. Shredderaffald – sigtet fraktion > ca. 10 mm
2. Blanding af messing/kobber-skrot og gråt metal - ca. 2-20 cm
3. Blanding af messing- og kobber-skrot - ca. 2-20 cm. Denne fraktion var resultatet af en sortering af input 2.



### 7.1.1 Demonstration 1: Sortering af shredderaffald

Input og de to output-strømme fra første demonstration er vist på de følgende fotos.



Figur 4. Input til demonstration 1: Shredderaffald – sigtet fraktion > ca. 10 mm.



Figur 5. Output 1, demonstration 1: Metal ler



Figur 6. Output 2, Demonstration 1: ikke metal ler

Fraktionen med metaller indeholder en del ikke-metaller, idet metalsensorene også detekterer affaldsstykker, hvor kun en mindre del er metal (fx en tøjrem med metalspænde).

### **7.1.2 Demonstration 2: Sortering af blanding af messing/kobber-skrot og gråt metal - ca. 2-20 cm**

Input og de to output-strømme fra anden demonstration er vist på de følgende fotos.



Figur 5. Demonstration 2: Input: Blanding af messing/kobber-skrot og gråt metal - ca. 2-20 cm.





Figur 6. Output 1, demonstration 2: gråt Metal



Figur 7. Output 2, demonstration 2: Kobber og messing

De to produktfraktioner er begge meget rene.

### 7.1.3 Sortering af output strøm 2 fra demonstration 2

Blandingen af messing- og kobber fra demonstration 2 sorteres efter farve.



FIGUR 10. MESSING-FRAKTION.



FIGUR 11. KOBBER-FRAKTION.

Selv efter en nøje visuel inspektion er det meget svært at afgøre, om de anløbne metalstykker består af kobber eller messing. SSE har med kontrolleret, at sorteringen er korrekt, og at de to fraktioner har en meget høj renhed.

## 8. Økonomi

### 8.1 Nødvendige investeringer til etablering af anlægget

SSE angiver følgende priser for deres sorteringsmaskiner:

Tabel 3. Prislister for SSE's sorteringsmaskiner

Metal "X" serien		
	Prislister Europa	
Type	€	DKK
MagnoSense 1200	225.000	1.671.750
SpectraSense 1200	307.000	2.281.010
CombiSense 1200	384.000	2.853.120
Finder 1200	164.000	1.218.520

Alle priser er eksklusiv moms, transport og idriftsætning.

### 8.2 Udgiftsstruktur

Nedenstående forudsætninger og data er anvendt i forbindelse med et skøn over behandlingsprisen. Alle data er opgivet af SSE med undtagelse af rentefod samt priser på el og varme, der er tilpasset danske forhold.

Anlægstyper: MagnoSense 1200  
 Anlægsstørrelse: 24.000 t tilført affald/år

Investering inkl. bygninger: 1.671.750 DKK  
 Rentefod: 7 % p.a.  
 Tilbagebetalingstid: 7 år

#### Driftsudgifter

Gennemsnitlig løn til personale <sup>1</sup>: 300.000 DKK/person 1 person  
 Elektricitet: 390 DKK/MWh 632 MWh/år

Vedligehold og reparation:  
 Reservedele 4,7 % af investering  
 Maskineri med udsatte sliddele 3,3 % af investering

De ukendte indtægter ved salg af metaller etc. er ikke medtaget ligesom besparelser i bemanning ikke er inkluderet.

Udgifter til forsikringer er ikke inkluderet.

#### Skønnede behandlingsomkostninger

<sup>1</sup> Personale fra selve shredder-anlægget antages også at kunne servicere sorteringsanlægget.

Den endelige behandlingspris vil være afhængig af anlægsplacering, faciliteter til stede, valgte bygningsstandarder osv. og den endelige pris, som vil kunne opnås for anlægget efter forhandlinger.

Behandlingsprisen skønnes at blive 42 DKK/t tilført affald.

## 9. Konklusioner og anbefalinger

### 9.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

SSE's sorteringsmaskiner er meget fleksible og vil kunne benyttes sammen med eller i stedet for traditionelle metoder til sortering af fx

- shredderaffald
- metaller fx stålemballage og hvidblik i slagge fra affaldsforbrændingsanlæg
- industriaffald

Den samme maskine vil i løbet af meget kort tid (minutter) kunne skifte "program" og dermed sortere vidt forskellige affaldstyper og produktstrømme fra tidligere sorteringer.

SSE har med succes langtidsafprøvet Metal "X" MagnoSense på shredderaffald.

SSE / CommoDas arbejder på et system til sortering af metaller fra husholdningsaffald før forbrændingen.

### 9.2 Affaldets udnyttelsesgrad

Renheden af produktstrømmene fra SSE's maskiner afhænger af vægtfylde, størrelsesfordeling og andelen af den fraktion, der skal udsorteres. Typisk ligger renheden mellem 93 og 98% ved én sortering.

### 9.3 Miljømæssige problemstillinger

Der er ingen miljømæssige problemer med processen ved korrekt afskærmning mht. støv- og støvemission.

### 9.4 Muligheder for know-how-formidling

Separation Systems Engineering GmbH (SSE)  
Rosengarten 10  
D-22 880 Wedel  
Tyskland

#### **Kontaktperson**

Eric van Looy, Managing Director  
Telefon: +49 4103 80 89 870  
Fax: +49 4103 80 89 877  
E-mail: [info@metall-sse.de](mailto:info@metall-sse.de)





# Logbog for besøg hos SVZ, Sekundärrohstoff VerwertungsZentrum Schwarze Pumpe

## Indhold

1. GENERELLE OPLYSNINGER	270
2. KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF ANLÆGGET	272
3. OBSERVATIONER UNDER BESØGET	275
4. KRITISKE DELPROCESSER OG DRIFTSPARAMETRE	276
5. MILJØMÆSSIGE FORHOLD	277
6. ARBEJDSMILJØMÆSSIGE FORHOLD	278
7. BESKRIVELSE AF INPUT	279
8. BESKRIVELSE AF OUTPUT	281
9. ØKONOMI	282
10. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	283

# 1. Generelle oplysninger

## 1.1 Procestype

SVZ råder over tre forskellige typer tryksatte modstrømsforgasser. Disse er:

- 7 stk. fixed-bed-modstrømsforgassere med en kapacitet hver på 15 t/h. Disse arbejder med fast affald ved temperaturer op til 1300 °C.
- 2 stk. flugstrom-forgasser med en kapacitet hver på 45.000 m<sup>3</sup> rågas /h. Disse arbejder med flydende affald. Forgasseren arbejder ved temperaturer op til 1800 °C.
- 1 stk. slaggebadsforgasser til behandling af forberedt, pelleteret fast affald med en kapacitet på ca. 30 t/h. Denne forgasser arbejder ved temperaturer på ca. 1600 °C.

Alle tre forgassertyper arbejder under tryk på ca. 25 bar.

## 1.2 Tilført affald

SVZ oparbejder en række affaldsfraktioner. De vigtigste er:

- Spildevandsslam.
- Plastaffald.
- Husholdningsaffald.
- Forurenet træ, f.eks. jernbanesveller.
- Industriaffald, herunder shredderaffald
- Tjæreslam mv.

## 1.3 Licenshaver og kontaktpersoner

SVZ er et affaldsbehandlings selskab, der lever af at behandle og oparbejde forskellige affaldsfraktioner. Knowhow formidling kan derfor ikke ske gennem SVZ, men ønsker man at investere i lignende anlæg, kan formidling sikkert ske gennem deres leverandører.

## 1.4 Ejerforhold og kontaktpersoner for det besøgte anlæg

SVZ er siden delprivatiseringen i 1995 af Berlinwasser Holding AG en 100 % ejet datterselskab af dette selskab.

Kontakt til selskabet kan ske gennem  
Hartmut Huck eller Jörg Buchholz  
Telefon: +49 3564 6-93770

E-mail: [buchholzj@svz-gmbh.de](mailto:buchholzj@svz-gmbh.de) eller [huckh@svz-gmbh.de](mailto:huckh@svz-gmbh.de)

### 1.5 Beliggenhed for det besøgte anlæg

Skundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH  
Suedstrasse  
D-02979 Spreetal OT Spreewitz  
Tyskland

### 1.6 Særlige interessante anlæg hos SVZ Schwarze Pumpe

SVZ har siden januar 2002 har haft den nye BGL forgasser (British Gas/LURGI) i drift. Garantitesten på 30 tons pr. time med 75% affald som indsats er vel overstået. Der er tale om en smelteforgasser, der arbejder ved ca. 1600 °C. Denne forgasser vil være velegnet til forgasning også af shredderaffald. Forsøg med shredderaffald har indtil da været udført på fixed-bed forgasseren hos SVZ nu gennem 7 år. Denne forgasser arbejder ved temperaturer på 800 – 1300 °C.

De væsentligste krav til shredderaffaldet, for at det kan behandles i forgasseren, drejer sig om krav til:

- Stykstørrelsen
- Vægtfylden
- Mekanisk styrke
- Varme stabilitet.

Shredderaffald indsættes i følgende form:

- Som leveret fra shredderen
- Kompakteret ved hjælp af eksterne ekstrudere
- Pelletiseret på SVZ's affaldsbehandlings anlæg.

Den fine andel af shredderaffaldet udgør det største problem i forgasseren. SVZ har derfor arbejdet på at udvikle et behandlingssystem, hvor shredderaffald pelleteres sammen med husholdningsaffald. Mængden af shredderaffald har været begrænset til maks. 15% af den samlede tilførte affaldsmængde.

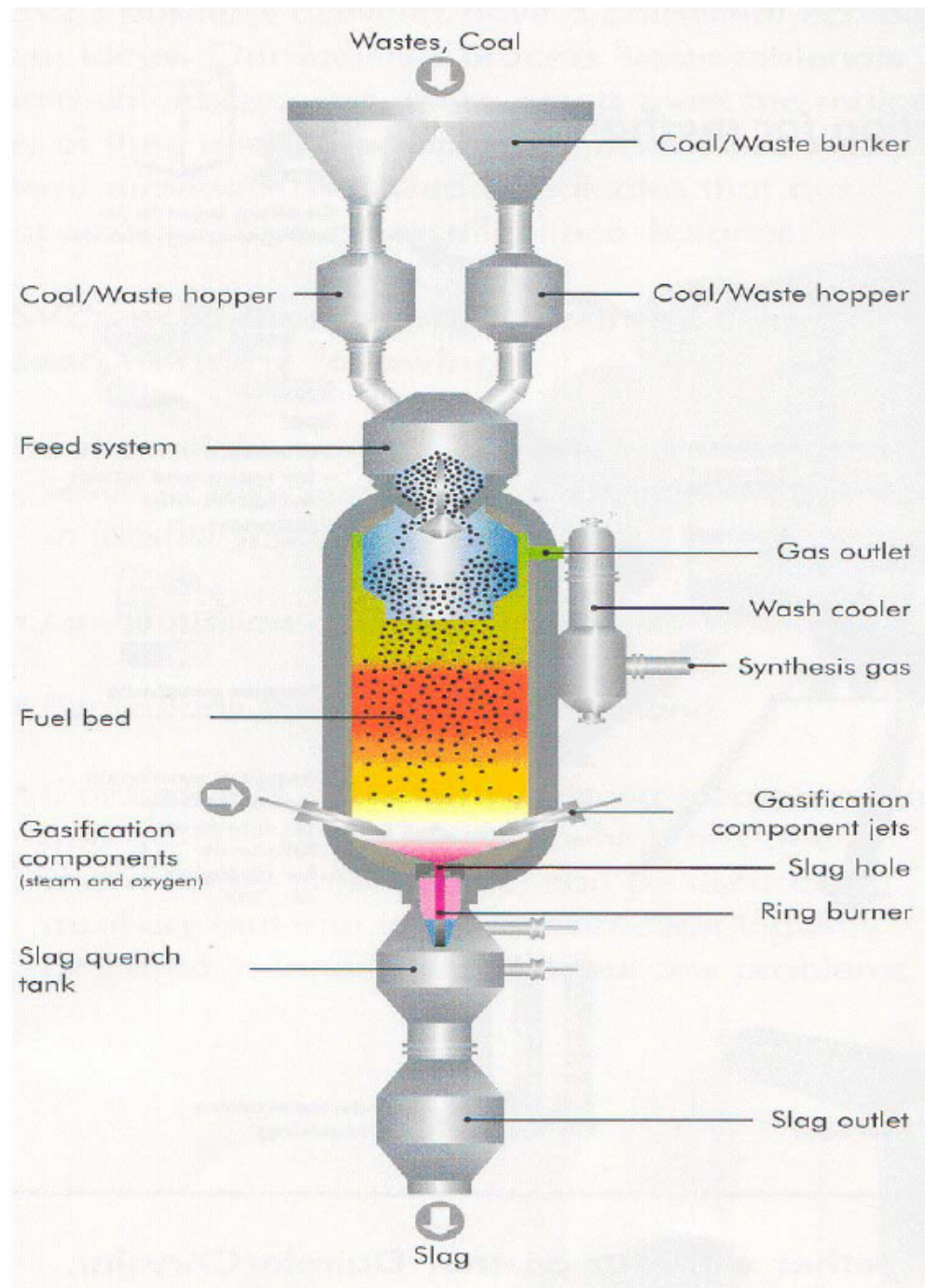
Hovedopgaven for SVZ for at kunne være konkurrencedygtig ved oparbejdning af shredderaffald er at finde metoder til at reducere mængden af fine partikler i affaldet. SVZ efterlyser samarbejdspartnere på dette område.

I det følgende vil primært smelteforgasseren og anlægget til materialeforberedelse blive behandlet.

## 2. Kortlægning og beskrivelse af anlægget

### 2.1 Processen

Kernen i processen er smelteforgasseren vist på figur 1. Som fôdning anvendes forberedt, pelleteret affald, der blandes med koks og brunkul. Indsatsen sker gennem en dobbelt sluse, der sikrer opretholdelse af driftstrykket på ca. 25 bar.



Figur 1. Principdiagram for slaggebedsforgasseren hos SVZ.

Til angivelse af forgasserens størrelse kan anføres følgende:

- Indsats: 27 – 30 tons/time.
- Indre diameter i forgasseren: 3,6 m.
- Gasmængde: 35.000 Nm<sup>3</sup>/time.
- Iltforbrug: 6.000 Nm<sup>3</sup>/ time.
- Dampforbrug: 6 – 9 tons/time.

Som forgasningsmiddel anvendes damp og ilt, og forgasningen finder sted ved ca. 1600 °C.

Slaggen udtages i flydende form og granuleres ved chokkøling i vand. Slaggemængden i denne forgasser kan udgøre 30 – 40 % af indfødningsen, hvilket

er ca. en fordobling i forhold til de ældre forgassere. Dette forhold gør smelteforgasseren egnet til behandling af shredderaffald uden at begrænse indfødningsen på grund af dette affalds høje slaggeindhold.

## 2.2 Oparbejdning af affaldet

Før det faste affald føres til forgasserne undergår en del af det en oparbejdning, som gør det egnet til indfødnings i modstrømsforgassere, som kræver, at affaldet er stykformet eller briketteret, og at det er varmebestandigt og kan modstå høje temperaturer i længere tid uden at nedbrydes.

Husholdningsaffald, affald af plast, shredderaffald og visse andre fraktioner sendes derfor gennem oparbejdningsanlægget, som med en kapacitet på ca. 500 tons pr. dag briketterer dette affald.

Oparbejdningsanlægget består af følgende delprocesser:

- Forbehandling.  
I forbehandlingensheden anvendes shreddere til neddeling af affaldet. Desuden anvendes magnetseparation og eddy current til udsortering af henholdsvis jern og ikke-jern-metaller af affaldet.
- Tørring.  
Næste trin forbehandling er tørring af affaldet. Dette sker af hensyn til kapaciteten i to linier.
- Sigtning.  
Efter tørringen sigtes materialet for adskillelse af tunge (mineralske) og lette (organiske) fraktioner. De tunge fraktioner udsorteres og deponeres, medens de lette fraktioner sendes videre i oparbejdningsprocessen.
- Pelletering.  
Her pelleteres affaldet og nedkøles derefter.

## 3. Observationer under besøget

### 3.1 Besøgets varighed

Den 2002-06-07 fra kl. 10:00 til kl. 12.30.

Smelteforgasseren blev fremvist under besøget, men desværre var den ikke i drift, men under reparation.

Desuden blev pelleteringsanlægget for pelletering af affald fremvist.

## 4. Kritiske delprocesser og driftsparametre

Der var under besøget ikke tid til at gå i detaljer omkring kritiske delprocesser og driftsparametre, men et væsentligt generelt problem for skaktovne og modstrømsforgassere blev dog diskuteret.

Dette problem er indfødningens materialets varmebestandighed. Processer af denne art kræver en stor del af indsatsmaterialet som grovkornet, briketlignende materiale. Bliver finandelen for høj, hæmmes luftgennemgangen gennem skakten og processen går i stå eller må stoppes på grund af ukontrollerbare gasstrømninger gennem skakten.

Shredderaffald har en stor finandel og derfor problematisk i denne proces, med mindre shredderaffaldet briketteres, hvilket kan ske ved ekstrudering. Ekstrudering er imidlertid en meget dyr løsning, der efter udsagn fra SVZ koster op mod 500 kr. pr ton shredderaffald, hvilket vil være en meget omkostningsforøgende del.

Indtil videre har SVZ valgt at begrænse indsatsen af shredderaffald til maks. 15%, men efterlyser samarbejde om udvikling af bedre og billigere metoder.



## 5. Miljømæssige forhold

### Miljømæssige forhold

Besøgets varighed var for kort til at gå i detaljer omkring de miljømæssige forhold.

Der er siden 1995 investeret mere end 250 millioner EURO i modernisering af anlæggene og hele virksomhedens område. Anlæggene fremstod vel vedligeholdte, og renlighed og ryddelighed prægede hele området.

Der er ingen grund til at betvivle at SVZ i dag overholder alle tyske krav til emissioner til luft og vand.

## 6. Arbejdsmiljømæssige forhold

### Arbejdsmiljømæssige forhold

Besøget var af for kort varighed til at vurdere de arbejdsmiljømæssige forhold, men ud fra de observationer, der dog blev gjort, kan man konkludere, at anlægget burde kunne overholde de danske krav til støv, støj og tungmetalbelastning. Forgasserne arbejder jo alle under tryk og må bl.a. af den grund være absolut tætte. Der er derfor ingen udslip af støv og gasser i driftssituationen. I forbindelse med visse reparationer på anlæggene må man antage, at det vil være nødvendigt at anvende åndedrætsværn og måske beskyttelsesdragter.

## 7. Beskrivelse af input

### 7.1 Input

SVZ oparbejder en lang række affaldsfraktioner. Der er oprettet interne kataloger til beskrivelse af såvel flydende affald som fast affald med angivelse af behandlingsmetode.

De vigtigste affaldstyper er følgende:

- Spildevandsslam.
- Plastaffald.
- Husholdningsaffald.
- Forurenet træ, f.eks. jernbanesveller.
- Industriaffald, herunder shredderaffald
- Tjæreslam mv.

Den normale brændselsblanding består af:

Pelleteret affald:	850 kg
Stenkul:	110 kg
Brunkul:	40 kg
Indsats blanding:	1000 kg

Figur 2 viser pelleteret affald, som det oparbejdes på SVZ's pelleteringsanlæg.



Figur 2. Pelleteret affald til indsats i slaggebadsforgasseren.

Shredderaffald modtages til oparbejdning i følgende tre former:

- Som ekstruderet materiale i størrelser fra 30 mm op til 80 mm, dog med en overstørrelse op til 120 mm, hvis denne udgør mindre end 5%. Vandindhold < 20%.
- Løst shredderaffald fra 10 mm op til 300 mm. 10% tillades at være < 10 mm, ligesom 10% tillades at være op til 500 mm. Dette materiale pelletteres før indsats. Vandindhold < 40%.
- Løst shredderaffald 4 – 80 mm til direkte indfødning i forgassen. Også her tillades en overstørrelse op til 120 mm, hvis den udgør mindre end 5% og en understørrelse mindre end 4 mm, hvis den udgør mindre end 10%. Vandindhold < 40%.

En del af shredderaffaldet der tilføres under forsøg har været ekstruderet. Ekstruderet shredderaffald er velegnet til behandling i forgassen, men ekstrudering er en dyr proces. SVZ oplyste, at omkostningerne til ekstrudering er ca. 500 kr. pr. tons shredderaffald.

## 8. Beskrivelse af output

### 8.1 Kraft/varme

Der produceres samlet i de i driftsværende forgassere 240 t damp pr. time. Dampdata er ikke oplyst for os.

Dampen anvendes delvis til drift af dampturbiner og delvis til pyrolyse i forgasseren. Syntesegassen anvendes delvis til drift af gasturbiner og delvis til fremstilling af metanol. Der er således installeret en elektrisk effekt på 30MW.

Desuden er der installeret en elektrisk effekt på 44,5 MW i form af gasturbiner.

### 8.2 Produkter

Hovedproduktet hos SVZ er metanol,  $\text{CH}_3\text{OH}$ , der fremstilles ud fra den rensede syntesegas. SVZ fremstiller ca. 100.000 tons metanol pr. år.

### 8.3 Granulat/restprodukt

Slaggen har SVZ indtil nu opfattet som affald, der skulle deponeres. Dette er sket i egne deponier. Med smelteforgasserens opstart har man imidlertid indset, at slaggen bør kunne anvendes som konstruktionsmateriale.

## 9. Økonomi

### 9.1 Omkostningsstruktur

Omkostningsstrukturen hos SVZ er ikke kendt af os og vil ikke blive beregnet, men på forespørgsel oplyste SVZ, at den pris de ville forlange for oparbejdning af 100.000 tons shredderaffald pr. år ville være ca. 130 EURO, svarende til 967 DKK/t.

## 10. Konklusioner og anbefalinger

### 10.1 Egnethed for den danske affaldsstruktur

SVZ har mange års erfaring i behandling af forurenede affaldstræ. SVZ har dog ingen erfaring i eller teknologi til genvinding af metallerne i trykimprægneret træ.

Hvad angår shredderaffald, har SVZ gennem flere år kørt forsøg med oparbejdning af shredderaffald, der efter de indhøstede erfaringer er velegnet til metanolproduktionen.

Med mekanisk sorteret shredderaffald, som det i dag foreligger hos bl.a. H. J. Hansen og R-plus, må den nu i driftsværende slaggebadsforgasser anses som egnet til oparbejdning af denne type affald. Forudsætningen herfor er dog, at der kan fremstilles stabile briketter til rimelig pris. I modsat fald må indsatsen af shredderaffald begrænses til måske kun 15%.

### 10.2 Miljømæssige problemstillinger

SVZ opfylder i dag sikkert alle miljøkrav i Tyskland, og kan ikke af miljømæssige grunde lades ude af betragtning i forbindelse med oparbejdning af affald.

### 10.3 Yderligere oplysninger

Tlf.: +49 35646-92041  
E-mail: [huckh@svz-gmbh.de](mailto:huckh@svz-gmbh.de)