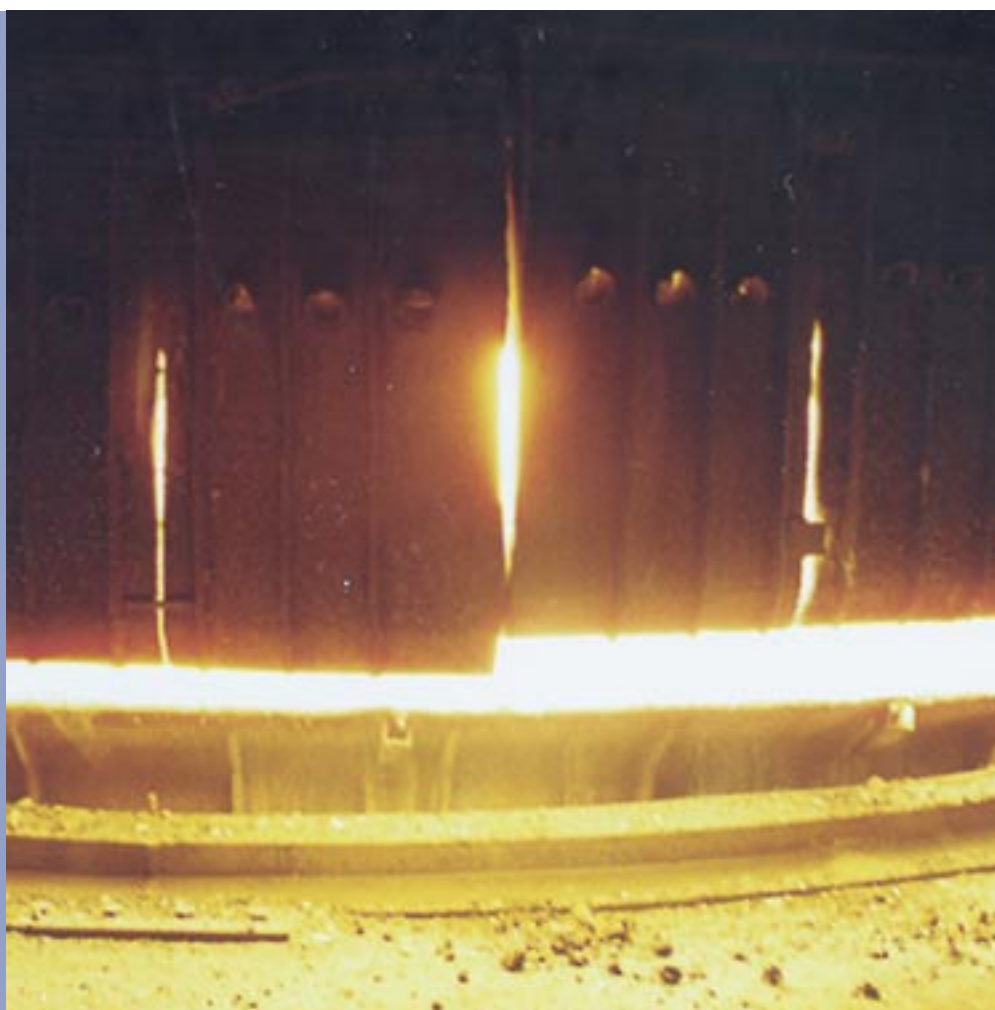


El-gjenvinning i energiintensiv industri

Teknisk/økonomisk potensial

Jan Sandviknes, Kjelforeningen-Norsk Energi

2
2004



OPPDRAGSRAPPORT A

El-gjenvinning i energiintensiv industri

Teknisk/økonomisk potensial

Oppdragsrapport nr 2/2004

El-gjenvinning i energiintensiv industri. Teknisk/økonomisk potensial

Oppdragsgiver: NVE

Forfatter: Jan Sandviknes, Kjelforeningen – Norsk Energi

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 50

ISSN: 1503-0318

Sammenheng: Rapporten summerer opp hvor mye energi som med dagens konvensjonelle teknologi kan gjenvinnes fra energiintensiv industri til elproduksjon. I dag produseres ca 565 GWh med basis i gjenvinning. Dette kan økes til ca 1 730 GWh innenfor en tidsperiode på 2-7 år og økes ytterligere til ca 3 400 GWh innenfor en tidsperiode på 7-15 år. Potensialet for elproduksjon med basis i gjenvinning er størst innen treforedling og ferrolegeringer.

Emneord: Industri, energigjenvinning, kraftproduksjon

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Februar 2004

Innhold

1	Innledning.....	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Sammendrag	4
2	Teknologier og kostnader for produksjon av el.	7
2.1	Dampprosesser	7
2.2	Gassprosesser	12
2.3	Andre prosesser	14
2.4	Prosessbegrensninger	15
3	Investeringer og kostnader	16
3.1	Ferrolegeringer	17
3.2	Treforedling.....	20
3.3	Aluminium	22
3.4	Kjemiske råvarer	25
4	Tilgjengelig spillvarme fra industrien	26
5	Eksergiandelen i spillvarme	27
6	Elpotensialet ut fra dagens teknologi og kostnadsklasser	31
7	Installerte dampturbiner i Norge	33

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Kjelforeningen - Norsk Energi har etter oppdrag fra Norges vassdrags- og energidirektorat kartlagt det teknisk/økonomisk potensial for elproduksjon med basis i energigjenvinning i den energiintensive industrien som omfatter:

- Ferrolegeringer
- Treforedling
- Aluminium
- Kjemiske råvarer

Studien er gjennomført med basis i tidligere arbeider og intervjuer, generell kunnskap om industrien og intervjuer med personer i industrien.

1.2 SAMMENDRAG

Det finnes en rekke teknologier for produksjon av el fra termisk energi og bioenergi, men det antas i denne rapporten at det er de tradisjonelle og utprøvde teknologier som vil bli benyttet i den tidsperiode denne rapporten omhandler.

De utprøvde teknologier er:

- Dampkjeler med dampturbin (dampmotor) og elgenerator
- Gassmotor med elgenerator

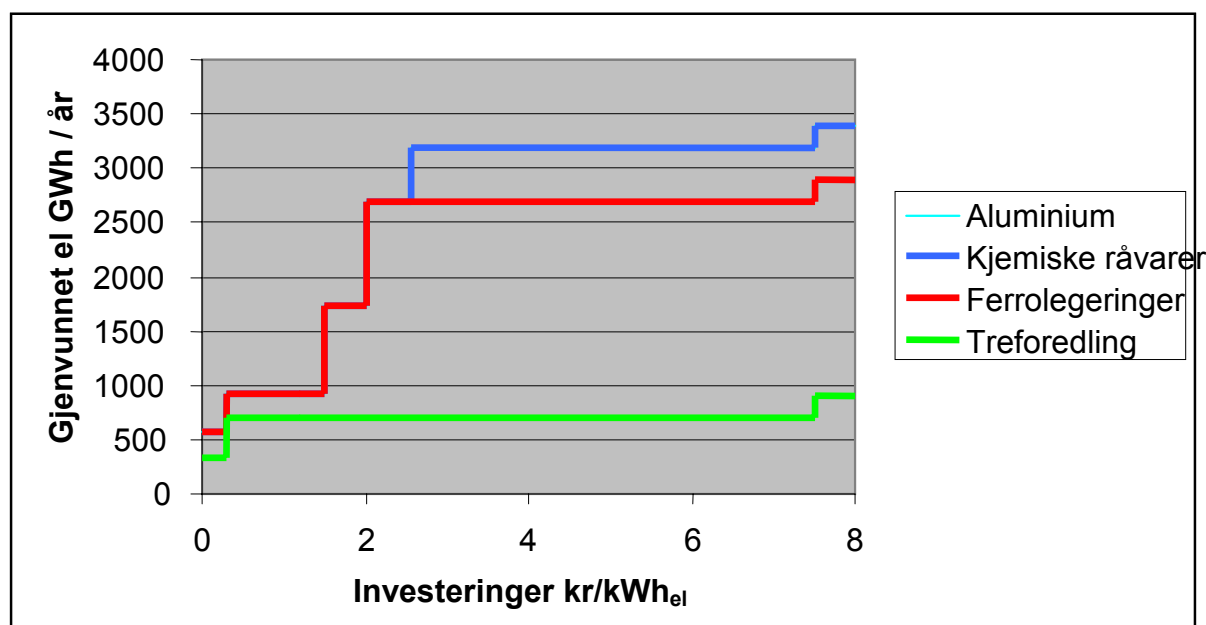
Potensialet for elproduksjon vil være som følger:

- Det produseres ca 565 GWh el i dag med basis i gjenvinning
- Gjenvinningen kan økes til ca 1 730 GWh innenfor en tidsperiode på 2-7 år ved en investering på 1 400 mill. kr
- Gjenvinningen kan økes til ca 3 400 GWh innenfor en tidsperiode på 7-15 år ved en investering på 5 650 mill. kr
- Det antas at ca 50 – 60 % av gjenvunnet el vil være berettiget til grønne sertifikater
- Potensialet for elproduksjon med basis i gjenvinning er størst innen treforedling og ferrolegeringer.

Tabell 1.1 viser elproduksjon fra energiintensiv industri i en tidsperiode på 2-12 år avhengig av investeringsnivået. Tall fra tabellen er grafisk vist på figur 1.2.

GWh/år (Kumulativ)	Ferrolegeringer		Treforedling		Aluminium		Kjemiske råvarer		Sum	
	GWh	kr/kWh	GWh	kr/kWh	GWh	kr/kWh	GWh	kr/kWh	GWh	kr/kWh
Dagens produksjon	235	0	330	0	0	0	0	0	565	0
Middels investeringer	1035	1,50	695	0,30	0	0			1730	1,20
Store investeringer	2035	2,00	895	7,5	0	0	500	2,55	3395	2,55
Elforbruk 2000	6940		7220		17220		7220		50560	

Tabell 1.1 Elproduksjon (akkumulative tall) ved forskjellige investeringsnivå innen energiintensiv industri [GWh/år]



Figur 1.2 Elproduksjon ved forskjellige investeringsnivå innen energiintensiv industri [GWh/år]

- Innen treforedling antas det at 80-90 % av gjenvunnet el vil kunne gis grønne sertifikater.
- Innen ferrolegeringer antas det at 50 – 60 % av gjenvunnet el vil kunne gis grønne sertifikater.
- Innen kjemiske produkter antas det bare en liten del av gjenvunnet el vil kunne gis grønne sertifikater.

Energibalanse for energiintensiv industri fremgår av tabell 1.3. År 2000 er valgt ut fra at det er det siste år hvor det foreligger offisielle tall.

Av tabellen fremgår det at el og bark og avlut utgjør 56 % av energibruken i den energiintensive industri.

Energibalanse for industri år 2000 - Verdier i TWh	Sum	Kull og koks	Bark-avlut	Naturgass	Andre gasser	Bensin og parafin	Tungolje og mellomdestilat	El
Sum energiintensiv industri	103,6	15,28	7,22	7,50	14,41	0,28	8,06	50,56
Kjemiske råvarer	31,39	3,33		7,22	13,06	0	0,83	7,22
Aluminium	19,17	1,11		0,28	0,28	0	0,28	17,22
Treforedling	13,33	0	5,00	0	0	0	1,11	7,22
Ferrolegeringer	13,33	6,67			0	0	0	6,94

Tabell 1.3 Energibalanse for den energiintensive industri år 2000 [TWh/år]

2 TEKNOLOGIER OG KOSTNADER FOR PRODUKSJON AV EL

Innen den energiintensive industrien vil produksjon av grønn el fortrinnsvis baseres på varme eller og brennbare gasser. Energien i gassene vil ha opphav i elektrisitet, biomasse, kull, olje og brenngasser. Elproduksjon med basis i vannkraftbasert el og biomasse vil kunne gi grønne sertifikater.

Det finnes en rekke teknologier for produksjon av el fra termisk energi og bioenergi, men det antas i denne rapporten at det er de tradisjonelle og utprøvde teknologier som vil bli benyttet i den tidsperiode denne rapporten omhandler.

Teknologibarrierer og kostnader kan være knyttet til bestemte deler av teknologikjeden. For den energitunge industrien kan teknologi- og kostnadskjeden være som følger:

Innsatsfaktorer	Prosess	Mellomprodukt	Omforming	Sluttprodukt
Råstoff		Varm gass	Kjel – turbin	Varme
Elektrisitet			Kjel – dampmotor	
Biomasse			Gassturbin	
Kull-koks			Gassmotor	
Olje/gass		Brennbar gass	Andre systemer	Elektrisitet

For treforedlingsindustrien vil hovedkostnadene være knyttet til brenselbehandling, brenselagring og kjelen. For ferrolegeringsindustrien er hovedkostnadene knyttet til avgasskjelen.

I det etterfølgende er noen av de mest benyttede omformingsprosesser beskrevet.

2.1 DAMPPROSESSER

Ved dampprosesser blir vann, fordampet, overhetet og kjørt gjennom en turbin eller dampmaskin hvor deler av dampens energiinnhold blir omgjort til mekanisk energi som driver en elektrisk generator.

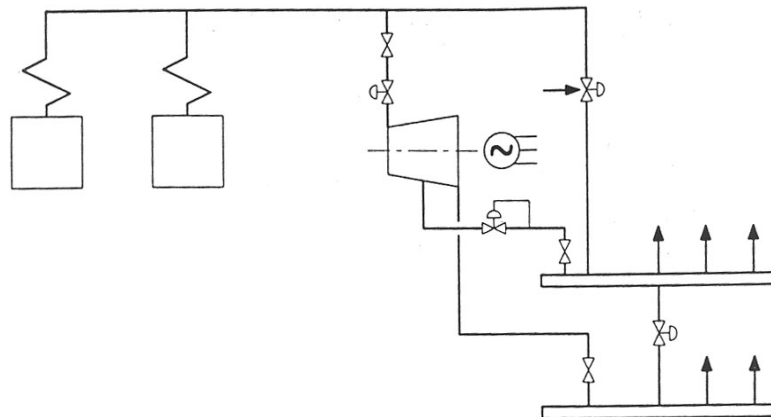
Man skiller gjerne mellom to prosesser for dampturbindrift:

- Mottrykkprosess
- Kondensasjonsprosess

Driften kan også være en kombinasjon av disse

Ved mottrykkssystemer som vist på fig. 2.1 blir dampen etter turbinen benyttet i termiske prosesser som tørking, koking, inndamping ol. Elandelen vil bare utgjøre 5-20 % av den energien som tilføres turbinen, men da dampen etter turbinen kan utnyttes oppnås høy total virkningsgrad.

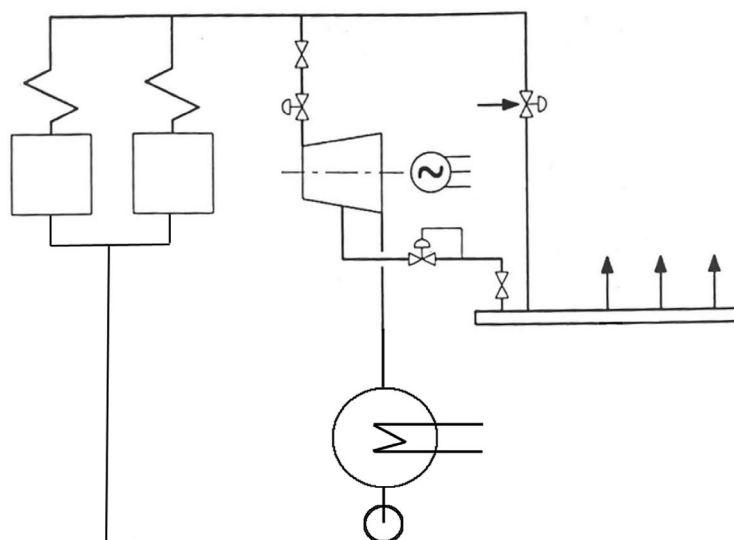
Mottrykksturbiner er forholdsvis rimelige i anskaffelse, men for at man skal oppnå høy elandel må kjelanlegget bygges for høy damptemperatur og damptrykk. Norske anlegg bygges gjerne for damptemperaturer mellom 400 og 500 °C og trykk mellom 40 og 80 bar.



Figur 2.1 Elproduksjon ved bruk av mottrykksturbin

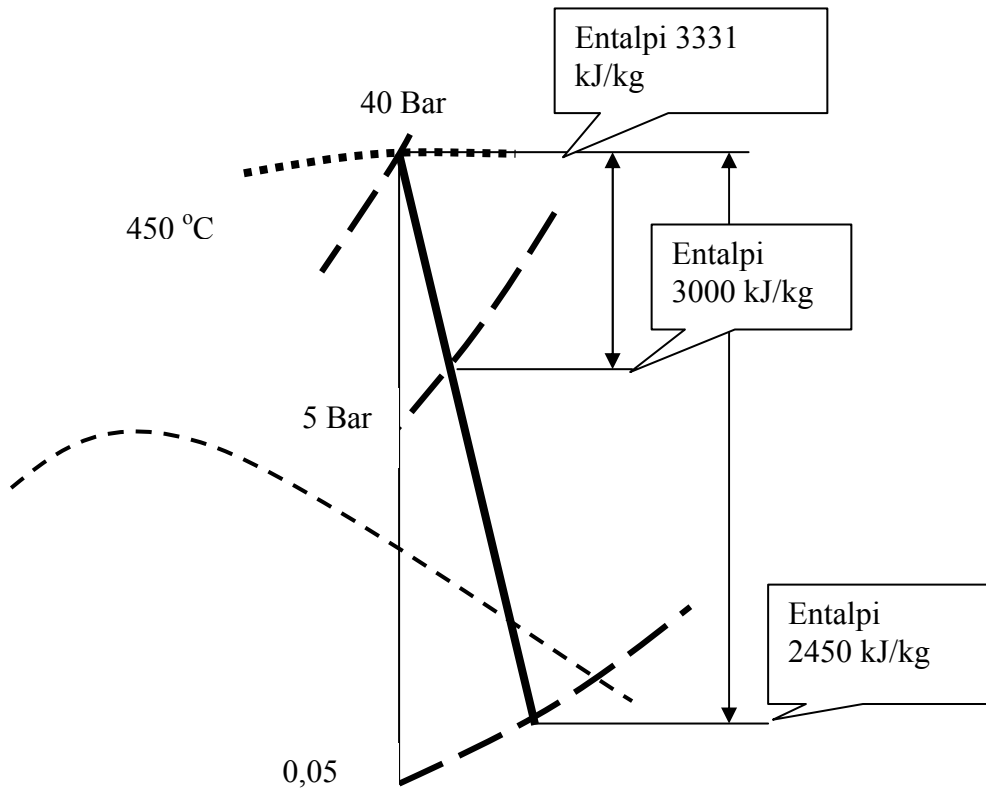
Ved kondensasjonsturbiner blir dampen etter turbinen kondensert i en kondensator som står under vakuum. For å oppnå høy elandelen bør kondensatet være så kaldt som mulig. Ved kondensattemperaturer på 20°C og innløpsdata for dampen som angitt ovenfor kan elandelen bli 20-30 % av energi til turbin. Resten av energien vil gjenfinnes i kjølevann og mekaniske tap og vil ikke kunne utnyttes til annet en fiskeoppdrett, gateoppvarming o.l. på grunn av lav temperatur.

Har man bruk for damp av høyere temperatur enn kondensatet, kan turbinen være utstyrt med dampavtapping som vist på fig.2.2. Jo mer damp som tappes av jo mer reduseres elandelen



Figur 2.2 Elproduksjon ved bruk av kondensasjonsturbin og avtapping

Dampprosessen i en turbin blir ofte beskrevet i et Molierdiagram. I diagrammet figur 2.3 er både det teoretiske entalpifallet og det virkelige inntegnet for mottrykk og kondensasjonsdrift.



Figur 2.3 Molierdiagram for vanndamp

Man kan lese følgende av diagrammet:

Damp av 40 bar og 450 °C har et energiinnhold på 3331 kJ/kg.

Bliir damp ekspandert gjennom en mottrykksturbin til 5 bar avgis $3331 - 3000 = 331$ kJ/kg. til turbinen.

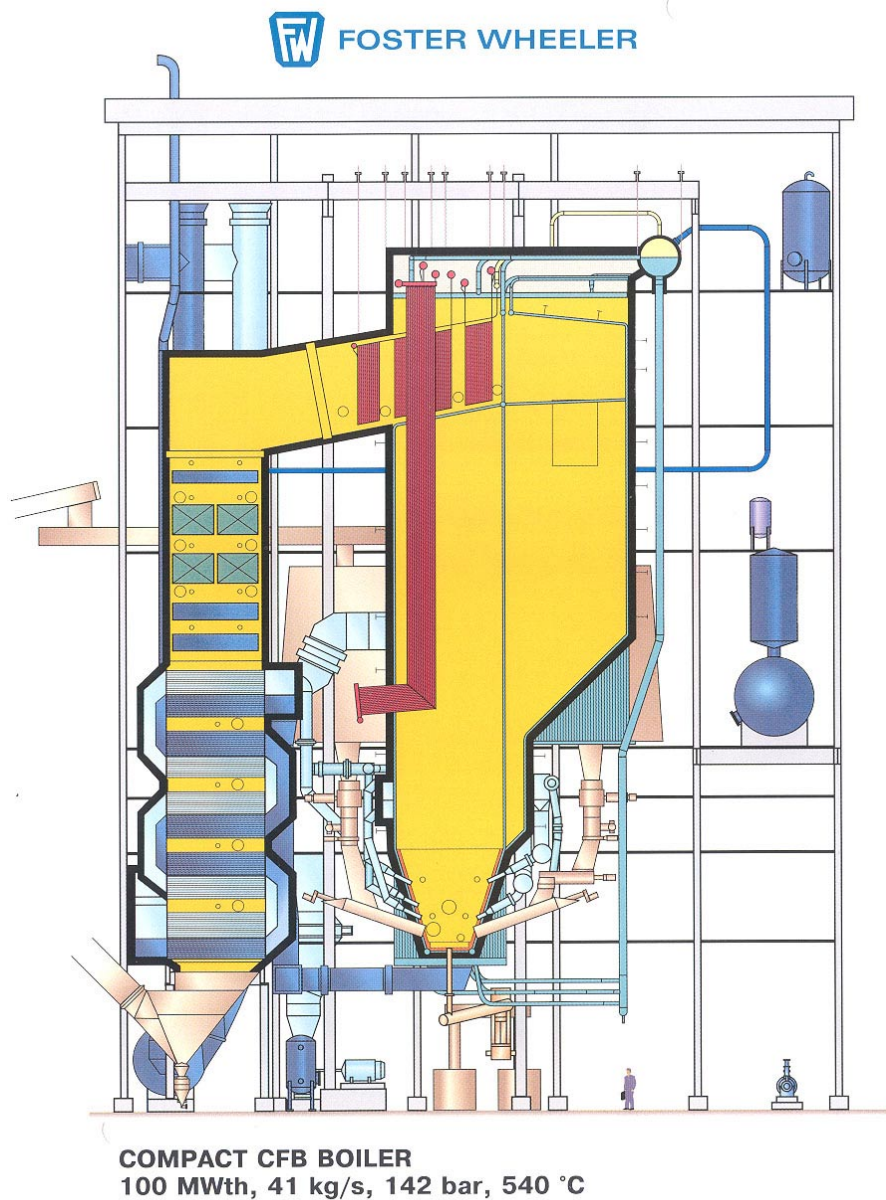
Dette er $331 \times 100 / 3331 = 9,9$ % av dampens energiinnhold før turbinen.

Ekspanderer dampen i en kondensasjonsturbin ned til 0,05 bar, avgir dampen til turbinen $3331 - 2450 = 881$ kJ/kg eller 26 % av dampens energiinnhold før turbinen.

Kjelen som produserer dampen kan være fyrst med bioenergi, olje eller gass, men den kan også være en avgasskjel som omformer varme gasser til damp. Dette er for eksempel vanlig ved energigjenvinning fra metallurgiske prosesser.

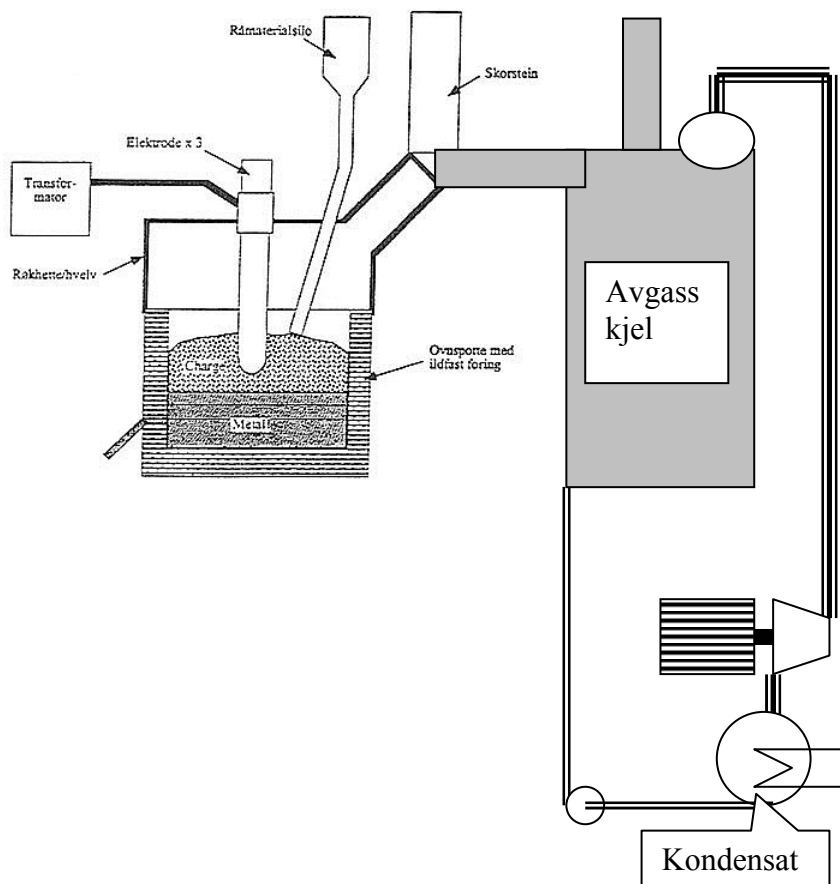
Ved elproduksjon innen treforedling vil de vesentlige kostnadene være knyttet til kjelanlegget og brenselbehandlingen. Biobrenselprisen vil normalt ikke være dominerende.

På fig. 2.4 er det vist en hurtigfluidiserende biobrenselkjel. Det vil ikke være aktuelt å bygge om eldre biobrensel kjeler til el produksjon.



Figur 2.4 Biobrenselkjel i treforedlingsindustrien

Innen ferrolegeringer er det montert 6 avgasskjeler for varmegjenvinning. Bare tre av disse er bygget for elproduksjon. I prinsippet er avgasskjelen arrangert som vist på fig. 2.5. Rengjøring av avgasskjelens heteflater, og det å kunne bygge kjeler med rimelige og effektive heteflater, har vært en av de store utfordringer.



Figur 2.5 Avgasskjel etter metallurgisk ovn

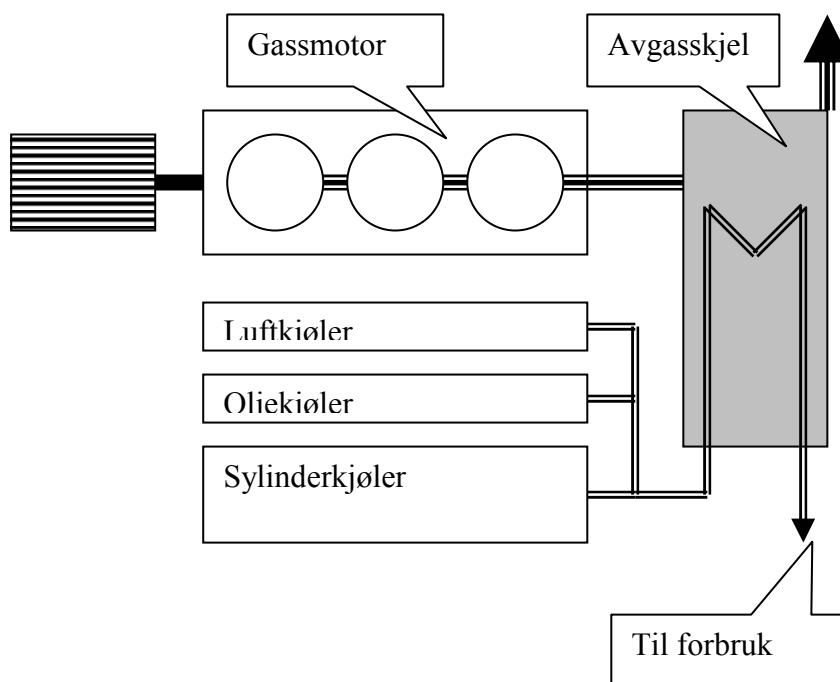
For ferrolegeringsprosesser som avgir brennbare avgasser blir avgassene normalt rensset før forbrenning i kjel. Kjelen kan da være en ordinær gass- eller oljefyrt kjel.

2.2 GASSPROSESSER

Ved gassprosesser blir luft og en brennbar gass tilført en gassturbin eller en gassmotor som omformer noe av energien (ca 30-40 %) i den brennbare gassen til mekanisk arbeid. Resten av energien vil forlate gassturbinen eller motoren som varm avgass, kjølevann og mekaniske tap. Restenergien kan utnyttes som lavverdig varme til prosesser ol.

Gassmotorer

Brenngassen som anvendes i en gassmotor må være forholdsvis ren for partikler og helst ha brennverdi over 5 kWh/kg. Brenngasser fra avfallsdeponier og biologiske renseanlegg ligger ofte på grensen av hva som kan anvendes i en gassmotor som vist på fig. 2.6. Ved noen motorer må brenngassen komprimeres og dette reduserer anleggets virkningsgrad. Omtrent 30 % av energien i brenngassen forlater motoren med avgassen og kan delvis gjenvinnes i en avgassskjel som vist på figuren nedenfor.

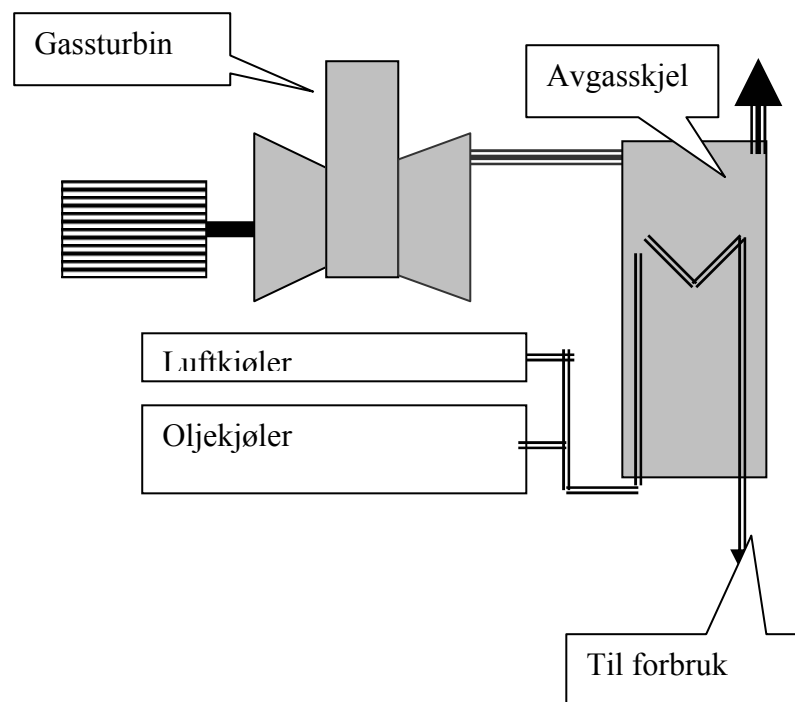


Figur 2.6 Gassmotor med elgenerator og avgassskjel

Gassturbin

I en gassturbin som vist på fig. 2.7 blir luft og brenngasser komprimert til 10-30 bar og brent i et brennkammer. Avgassene ledes gjennom en turbin og avgir energi til denne som driver luftkompressor, elgenerator eller annet utstyr.

For at ikke temperaturen skal bli for høy i avgassturbinen må forbrenningen foregå med stort luftoverskudd sammenlignet med forbrenning i kjeler. Avgassen som har en temperatur på 400-600 °C kan utnyttes i en avgasskjel eller benyttes som tørkeluft i prosesser o.l. Gassturbin er hittil ikke benyttet ved produksjon av el fra brennbare avgasser i treforedling og ferrolegeringer, dels ut fra at det er små gassmengder med lav brennverdi og dels for at gassen ikke er ren nok. Elproduksjon ved bruk av gassturbiner, vurderes som en kostnadseffektiv metode, og er benyttet ved brennbare avgasser på raffinerier, i Nordsjøen o.l.



Figur 2.7 Gassturbin med elgenerator og avgasskjel

I den energiintensive industrien er det fortrinnsvis fire produsenter av SiMn og FeMn som har større mengder brennbare gasser som kan anvendes til elproduksjon. En av disse bedriftene produserer ca 11 MW_{el} ved dampprosess. En bedrift leverer den brennbare gassen til tørkeformål ved nabobedrift, og to bedrifter har flere ganger vurdert å produsere el ved bruk av motorer, men prosjektene har ikke kommet til utførelse. Gassmotorer for strømproduksjon kan installeres i industrien for å utnytte brennbar gass fra biologiske vannrensaneanlegg og deponier, men hittil er den brennbare gassen brent i bedriftenes kjelanlegg og utnyttet som damp. I kommunale biologiske vannrensaneanlegg og deponier er gassen i noen tilfeller utnyttet i motorer til elproduksjon.

2.3 ANDRE PROSESSER

Carbo AS

Carbo AS har under utvikling en avgasskjel for gjenvinning av varme fra støvholdige avgasser. Prosjektet er på utviklingsstadiet.

Stirling

Stirlingprosessen er en varmluftmotor hvor energitilførselen foregår i en varmeveksler i stedet for i brennkammeret som ved Otto- og Dieselmotorer. Stirlingprosessen gir ofte tunge, dyre motorer som taper i kampen med Otto- og Dieselmotorer, selv om disse må bruke et renere og dyrere brensel.

Sigma

Sigmamotoren er en varmluftmotor utviklet av det svenske forsvaret med basis i Stirlingprinsippet.

Ormat

Ormatprosessen er en dampturbinprosess hvor mediet som kjøres gjennom turbinen er propan eller lignende organiske væsker. Med Ormatprosessen kan systemet kjøre med lavere trykk og temperatur enn ved vannbaserte systemer.

Power Fluid AS

Systemet er i prinsippet en varmluftmotor med ytre forbrenning hvor man bruker en organisk væske som drivende medium i stedet for gass som ved Sterlingprosessen

Flash-box

Flash-box systemet består av en hetvannskjel tilkoblet en re-boiler hvor det produseres damp til bruk i en dampturbin eller dampmotor. Systemet er utviklet for å kunne produsere el ved eksisterende hetvannskjeler, men elandelen blir lav.

Dampmaskin

Dampmaskin vil kunne erstatte turbinene vist på figur 2.1 og 2.2. Dampmaskin vil arbeide med lavere trykk og temperatur enn turbiner og har derfor lavere virkningsgrad. For 50-100 år siden ble dampmaskiner benyttet i skip, lokomotiver og i industrien. Fredrikstad mekaniske verksted produserte en av verdens mest effektive dampmaskiner. For mindre effekter og moderate trykk kan dampmaskin være aktuell for produksjon av el, men investeringene blir høye. Spilling er en aktuell leverandør av slike anlegg.

Gassgeneratorer

Det nedlegges stor innsats for å utvikle teknikker som kan omforme biomasse og avfall til brennbare gasser som kan brukes i ordinære kjeler og gassmotorer, men foreløpig er det få kommersielle anlegg tilgjengelig.

Er ikke brenselet som skal forgasses homogent og tørt og fritt for metaller ol., blir det gjerne brodannelse og slagging og andre driftsforstyrrelser i reaktoren, og skal gassen brukes i motorer må den renses før motoren. Under verdenskrigen 1940-45 var det i drift en rekke gassgeneratorer på fiskebåter og biler. Det var fortrinnsvis or med lavt tjæreinnhold som ble benyttet i generatorene, men likevel måtte gassen gjennomgå god rensing før den ble tilført motor.

2.4 PROSESSBEGRENSNINGER

I rapporten har vi forutsatt:

- Mengden el som produseres er med basis i varmebehov i prosesser eller avgasser fra prosesser.
- Vi har forutsatt at el blir produsert med basis i innkjøpt biobrensel i de tilfelle anlegget er koblet til kondensasjonsturbin og eget produsert brensel er utilstrekkelig.
- Vi har antatt at biobrensel ikke er en begrensende faktor for el produksjonen.
- Vi har forutsatt at grønne sertifikater kan gis til den del av el produksjonen som har basis i bioenergi og vannkraftbasert el.

3 INVESTERINGER OG KOSTNADER

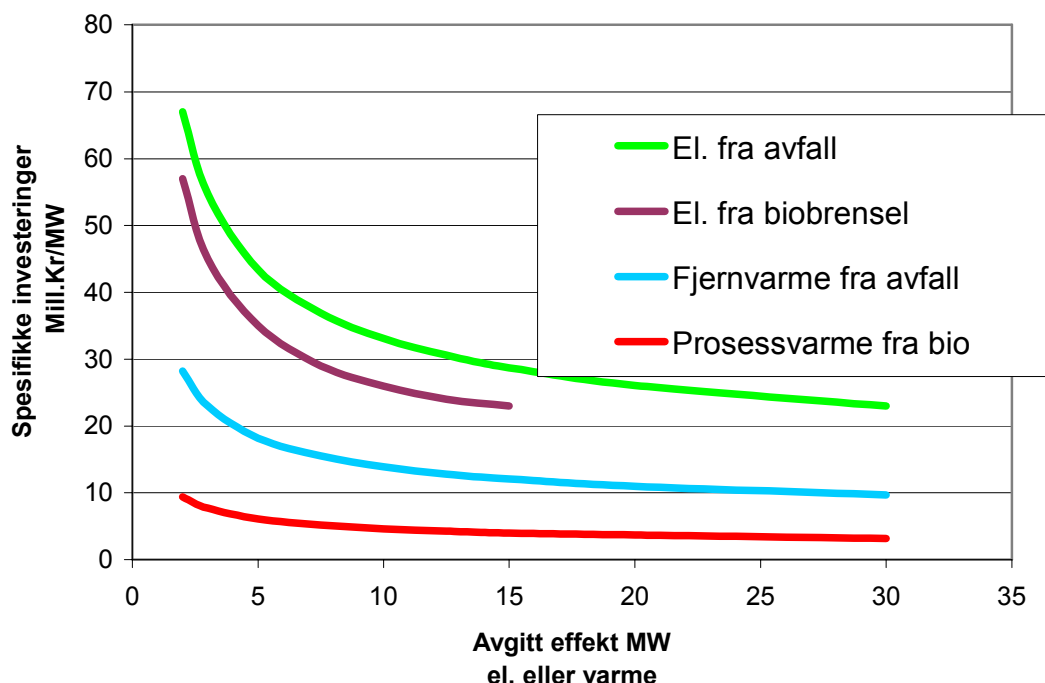
Investeringene i et anlegg for produksjon av el fra bioenergi eller varme og brennbare avgasser vil være vesentlig høyere enn for et anlegg som bare produserer varme.

Skal det produseres el ved bruk av damp, må kjelen bygges for vesentlig høyere trykk og temperatur enn om kjelen bare skal levere damp eller hetvann til oppvarming. Kjelen må dessuten ha overheter og et bedre vannrenseanlegg, kondensator osv. Fordi elproduksjonen bare utgjør en mindre del av varmeproduksjonen, vil de spesifikke elkostnadene bli 3-4 ganger høyere enn spesifikke varmekostnader.

I rapporten Energigjenvinning fra avfall utarbeidet av Kjelforeningen - Norsk Energi i 1996 for PIL er det angitt spesifikke investeringer for anlegg som med basis i avfall produserer henholdsvis el, fjernvarme og prosessvarme. Diagrammet er gjengitt på figur 3.1. Spesifikke investeringer for el fra bioenergi vil ligge omtrent midt mellom de to øverste kurvene på figuren.

Et anlegg som produserer inntil 15 MW_{el} eller 50 MW_{varme} fra bioenergi vil koste 350 mill. kr eller 23 mill. kr/MW_{el} (23.000 kr/kW_{el}).

Et mindre anlegg med strømproduksjon 2,5 MW_{el} og 15,5 MW_{varme} vil koste 150- 200 mill. kr eller 70.mill. kr/MW_{el} (70.000 kr/kWh_{el}).



Figur 3.1 Spesifikke Investeringer ved biobrensel og avfall

Kapitalkostnader vil være den største enkeltposten ved produksjon av el fra varme eller brennbare avgasser. Ved en rentefot på 7 % og en nedbetalingstid på 15 år blir årlige kapitalutgifter 11 % av investert beløp.

Ved et biobrenselfyrt anlegg på 15 MW_{el} og antatt fullast tid på 6000 timer som er vanlig ved el produserende anlegg, blir kostnaden som følger:

Kapital kostnader = 23.000 (kr/kW_{el})*0,11/6000 (fullast timer/år) = 0,42 kr/kWh_{el}

Årlige drift og vedlikehold vil være ca 0,03 av investert kapital = 0,11 kr/kWh_{el}

Brenselkostnadene kan variere fra negative verdier til 0,10 kr/kWh_{varme}.

Antar man en brenselkostnad på 0,05 kr/kWh_{varme}, vil brenselet ved et anlegg med kondensasjonsturbin representere en kostnad på ca. 4 ganger brenselkostnaden eller 0,20 kr/kWh_{el}. Samlet blir elkostnadene som følger:

Kapitalkostnader	0,42 kr/kWh _{el}
Drift og vedlikehold	0,11 "
Brenselkostnader	0,20 "
<u>Sum</u>	<u>0.73 kr/kWh_{el}</u>

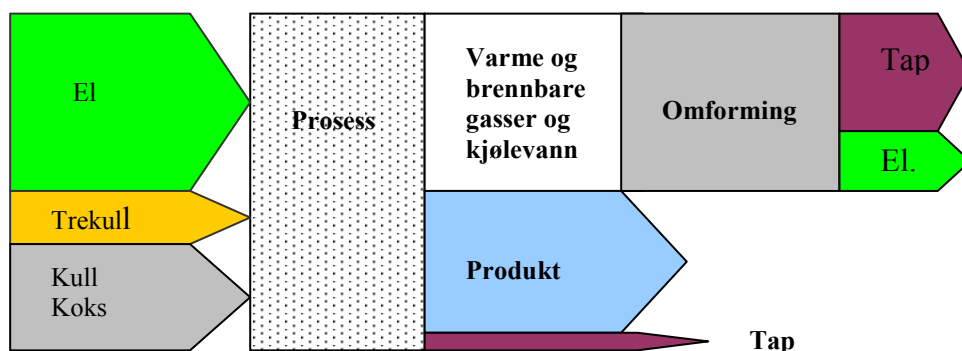
3.1 FERROLEGERINGER

Det er vurdert 18 bedrifter innen bransjen. Tre bedrifter produserer el i dag, en bedrift som leverte fjernvarme er nedlagt. De fleste bedriftene har foretatt vurderinger med tanke på å produsere varme eller el.

I metallurgisk industri vil elgjenvinning kunne foregå med basis i brennbare gasser, varme utbrente gasser og varmt kjølevann som vist på figuren nedenfor.

Energiltførselen til prosessene vil være

- elektrisitet
- trekull og biomasse
- kull og koks



Figur 3.2 Energifordeling i ferrolegeringer

Større metallurgiske bedrifter er oppført i tabell 3.3 med angivelse av produsert el teoretisk gjenvinnbart elpotensial og type gjenvinnbar energi. Tallene er ca. verdier.

Produkt	Bedrift	El forbruk	Elprod		Gjenvinnbar el	Gjenvinnbar energi fra prosess
		Ovner	GWh	MW	teoretisk	
		GWh	GWh	MW	GWh	
FeSi og Simetall	Elkem Bremanger	740			97	Varm gass
	Elkem Thamshavn	460	95	22,2		Varm gass
	Elkem Salten	920			150	Varm gass
	Elkem Bjølvefossen	650	48	8		Varm gass
	Elkem Fiskå	560			85	Varm gass
	Elkem Meråker	430			65	Varm gass
	Fesil Rana Metall	540			80	Varm gass
	Fesil Holla metall	640			95	Varm gass
	Fesil Lilleby Metall	290			Nedlagt	Varm gass
	Finnfjord smelteverk	600			90	Varm gass
FeCr	BRAS Rana	640			100	Brennbar gass
FeMn/ SiMn	Eramet Sauda	700			105	Brennbar gass
	Eramet Porsgrunn	610			90	Brennbar gass
	Tinfos Øye smelteverk	760	92	14		Brennbar gass
Titan oks	Tinfos Tyssedal	325			50	Varm gass
SiC	Norton Lillesand					Varm gass
	Norton Arendal					Varm gass
	Orkla Exolon					Varm gass
Sum ca.		8865	235	45	1000	

Tabell 3.3 Gjenvinningspotensialet i større metallurgiske bedrifter

I rapporten Energigjenvinning i Ferrolegeringsindustrien 1996 utarbeidet av KNE for Ferrolegeringsindustriens Forskningsforening år 1996, ble følgende investeringer og gjenvinningspotensialet antatt.

Ferrolegeringer 1996	Elkraft		Investeringer			Gjenvunnet Forbruk
	GWh/år	MW _{el}	mill. kr	kr/ kWh _{el}	kr/kW _{el}	%
Gjenvunnet energi	182	23				2
Mulig ved middels investeringer	871	110	1252	1,44	11382	9,5
Mulig ved store investeringer	1115	140	1829	1,64	13065	12
Elforbruk	9140					100

Tabell 3.4 Mulig elproduksjon ved to investeringsnivå innen ferrolegeringer år 1996

Prisene har økt endel i perioden og man må i dag investere ca 125 -175 mill. kr for gjenvinning av 10 MW_{el}. Investeringene vil ved verk med varme avgasser være høyest ved verk med flere små ovner og lavest hvor man gjenvinner fra en stor ovn. Verk med brennbare avgasser vil ha lavest investeringsbehov.

På grunn av nedleggelse av noen verk, produksjonsendringer osv. er gjenvinningspotensialet år 2003 noe redusert og investeringene har økt. Tabell 3.5 viser oppdaterte tall.

Ca 50-60 % av den produserte el kan tilbakeføres til vannkraft basert el og biobrensel.

Ferrolegeringer 2003	Elkraft		Investeringer			Gjenvunnet Forbruk
	GWh/år	MW _{el}	mill. kr	kr/ kWh _{el}	kr/kW _{el}	%
Gjenvunnet energi	235	45				2,6
Mulig ved middels investeringer	800	125	1300	1,50	15000	11,5
Mulig ved store investeringer	1000	150	2000	2,00	19500	14,4
Elforbruk år 2000	6940					100

Tabell 3.5 Mulig elproduksjon ved to investeringsnivå innen ferrolegeringer år 2003

3.2 TREFOREDLING

I rapporten er det innen treforedling vurdert 23 bedrifter som vist i tabellen nedenfor. 9 bedrifter har kjeler hvor det brennes biomasse eller treholdig lut og produseres damp for bruk i prosessen.

5 bedrifter har dampturbinanlegg for produksjon av elektrisitet. Bare 2 av turbinene er i drift. 3 av dampturbinene er ikke i drift av forskjellige årsaker

Produkt	Bedrift	Bioenergi		Mulig el-produksjon	
		MW	GWh	MW	GWh
C	Sødra Cell Tofte	Sodahus 270 MW	1700	50	250
C	Peterson Linerboard Moss	Sodahus 100 MW	500	(12,5)	(100)
P	Norske Skog Skogn	30	220	10	(40)
P	Norske Skog Saugbrugs	70	400	11	80
P	Norske Skog Follum	30	200	11,6	(50)
P	Norske Skog Union	18	140	12	(90)
P	Hurum Fabrikker	x			
M	Sødra Cell Folla	5	50		
P	Smurfit Sundland-Eker				
P	Skjærdalens Bruk				
M	Rygene-Smith & Thommesen				
P	Peterson Linerboard Ranheim	x			
P	Nordic Paper Greåker				
P	Nordic Paper Geithus				
M	Larvik Cell				
P	Hutamaki Norway				
F	Huntonit -Venesla				
F	Hunton Fiber				
P	Hunfos Fabrikker				
P	Glomma Papp	1,5	9		
P	Borregård Hellefoss				
M	Borregard Vafos				
C	Borregard Sarpsborg	x	55	360	
	SUM				330(365)

(Tall i (parentes) angir anlegg som med moderate investeringer kan starte elproduksjon.
x angir bedrifter som helt eller delvis kjøper damp fra andre.)

Tabell 3.6 Større treforedlingsbedrifter år 2003

I rapporten Teknisk og økonomisk potensial for elkraftgenerering basert på biobrensel og andre brensel utarbeidet av KNE og IFE år 1996, ble det antatt at det kunne gjenvinnes 1000 GWh/år til en elpris < 25 øre/kWh og 2100 GWh/ år til en pris lavere enn 40 øre/kWh.

Noen fabrikker har elproduserende gjenvinningsanlegg som ikke er i drift av forskjellige årsaker, og det finnes fabrikker som har kjelanlegg bygget for turbindrift. Ved å investere 100-150 mill. kr i disse anleggene, vil det kunne produseres ca 365 GWh/år i tillegg til 330 GWh/år som produseres i dag.

Potensialet for elproduksjon i treforedling er vesentlig redusert de senere år. Dels dekkes papirfabrikkenes dampbehov av gjenvunnet lavtrykk TMP damp og dels av innkjøpt damp produsert av avfallsforbrenningsanlegg.

Mulighetene for strømproduksjon i treforedling utover 695 GWh/år er derfor meget begrenset. Det kan teoretisk bygges 4-6 mindre biobrenselanlegg med samlet elproduksjon på 180 - 200 GWh/år og eleffekt 30 MW_{el}, men slike anlegg vil bli meget kostbare. Tabell 3.7 viser oppdaterte tall for treforedling.

Det antas at 80-90 % av den produserte el tilfredsstiller dagens krav til grønne sertifikater.

Treforedling år 2003	Elkraft		Investeringer			El gj/ Forbruk
	GWh/år	MW _{el}	mill. kr	kr/ kWh _{el}	kr/kW _{el}	%
Gjenvunnet i dag	330	55				4,7
Mulig ved middels investeringer	365	50	100-150	0,3	2.000	5,1
Mulig ved store investeringer	200	30	1.500	7,5	50.000	2,8
Elforbruk år 2000	7220					100

Tabell 3.7 Elproduksjon ved to investeringsnivå innen treforedling år 2003

3.3 ALUMINIUM

Det er i rapporten vurdert syv verk som produserer primæraluminium i Norge. Samlet kapasitet for Al-industrien er ca 1 mill. tonn pr år som utgjør 6 % av verdensproduksjonen. I 2010 forventes en produksjon på 1,35 mill. tonn primæraluminium.

I 2001 var primærproduksjonen av aluminium 1.05 mill. tonn. Totalt el forbruk var 13,95 TWh. Ca 40 % av produksjonen foregikk i Søderbergceller og resten i Prebakedceller. Innen 2010 vil ombyggingene til Prebaked medføre at bare ca 20 % eller mindre av aluminiumproduksjonen foregår i Søderbergceller.

Bedrift	Gjenvinnbar energi fra prosess	Gjenvunnet energi MW			Gjenvinnbar el MW
		El	Varme	Gass	
Elkem Lista	Varm gass/ brennbar gass				
Hydro Karmøy	Varm gass				
Husnes	Varm gass				
Hydro Høyanger	Varm gass		x		
Hydro Årdal	Varm gass				
Hydro Sunndalsøra	Varm gass		x		
Elkem Mosjøen	Varm gass		x		

(x angir bedrifter som gjenvinner varmt vann av lav temperatur)

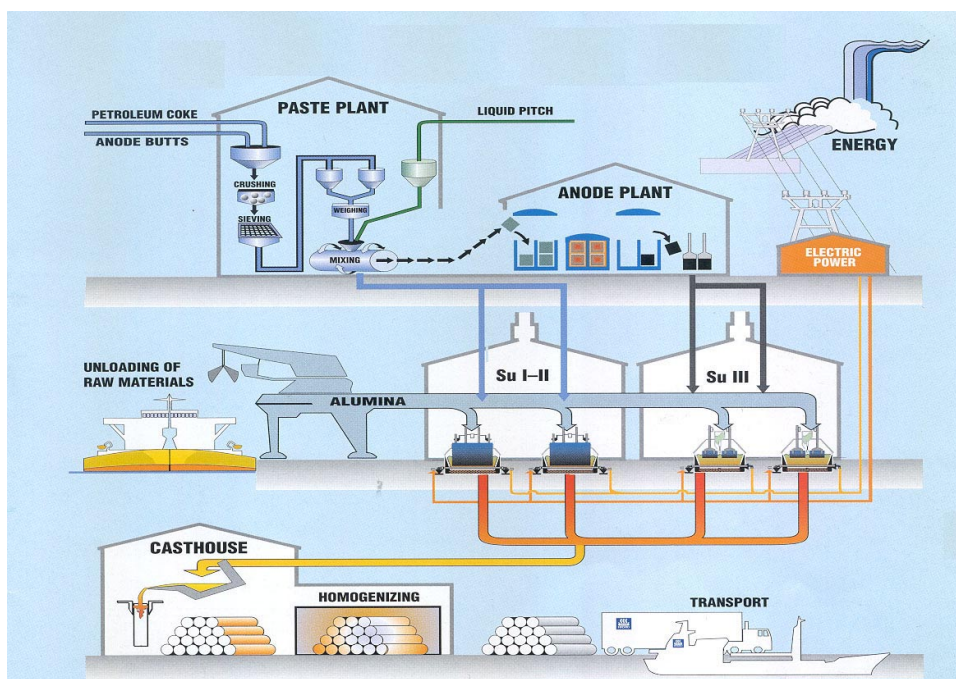
Tabell 3.8 Bedrifter innen primæraluminium år 2003

I tillegg til disse bedrifter finnes det støperier, pressverk, omsmeltingsverk og raffinerier.

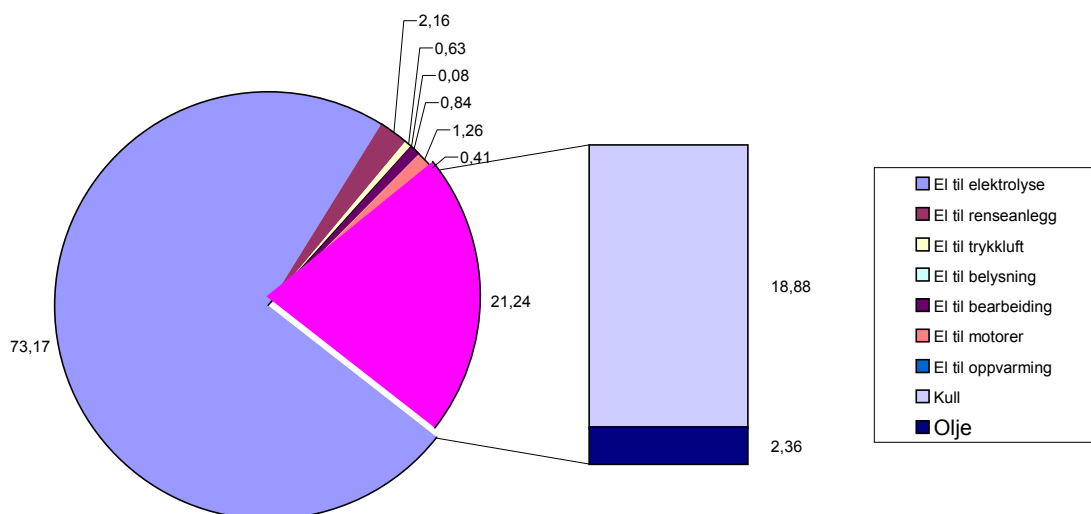
De største av disse er:

- Hydro Raufoss
- Hydro Holmestrand
- Vigeland verk
- Hekker metall

Ved disse bedriftene er det varme diskontinuerlige avgasser som vanskelig kan gjenvinnes. Dels på grunn av diskontinuitet og dels at gassene er korrosive og støvholdige. Fig. 3.9 viser materialflyten i et verk som produserer primæraluminium og fig. 3.10 viser energifordelingen.



Figur 3.9 Verk med forbakte anoder og Søderberg celler.



Figur 3.10 Energifordeling i aluminiumsindustrien

Elektrolyseprosessen er i varmeteknisk henseende uøkonomisk. 35 - 38 % av energibruken går til det elektrolytiske arbeidet i ovnen, mens det øvrige går til å dekke varmetapet for å holde smelten på riktig temperatur og til å dekke tap i strømskinnene. Energibehovet for elektrolyseprosessen er i gjennomsnitt som vist i tabell 3.11

	kWh/kg elektrolysert aluminium					
	Elektrisitet		Kull		Sum	
	Brutto (Vekselstrøm)	Netto (Likestrøm)	Brutto	Netto	Brutto	Netto
Søderberg	19,5	18	4,5	4,5	25,0	22,5
Prebaked	14,5	14	5,5	4,5	19,7	17,5

Tabell 3.11 Spesifikke energitall for aluminiumelektrolyse

Energi fra prosessen omfatter:

- Elektrolyseenergi i metall 7,8 MWh/tonn
- Smeltevarme og følbar varme i metall 1,1 MWh/tonn
- Varmetap til hall og avgass 11- 16 MWh/tonn

Det har i flere år vært arbeidet med å gjenvinne energi fra varmetap i elektrolysekassene. Ved effektiv kjøling vil strømtettheten i elektrolysen kunne økes og muligheten for elproduksjon vil øke. I dag kjøles elektrolysekassene med halluft av 20-30 °C. Dersom temperaturen på kjølegassen heves til 100-150 °C, kan det bli mulig å produsere el ved bruk av varmluftmotorer ol. Prosjektene er så usikre og så fremtidsrettet at vi har i rapporten satt gjenvinningpotensialet til null.

Det har flere ganger vært vurdert å produsere el ved å utnytte den brennbare gass fra Søderberg celler, men disse prosjektene har ikke blitt realisert, og nå fases Søderberg teknikken ut på grunn av miljøforhold.

3.4 KJEMISKE RÅVARER

SSB sin energistatistikk over bransjen omfatter ca 100 bedrifter med midlere energibruk på ca 315 GWh /år pr bedrift og et midlere elforbruk på 72 GWh. Mange bedrifter har diskontinuerlige prosesser som medfører problemer og dårlig lønnsomhet ved gjenvinning av varme og el.

I rapporten ”Teknisk og økonomisk potensial for elkraft-generering basert på biobrensel og andre brensel” utarbeidet av KNE og IFE år 1996 ble det antatt at det i bransjen maksimalt kunne produseres 500 GWh_{el} uten at man kunne angi investeringsbehov.

I tabell 3.12 har vi antatt at gjenvinningspotensialet for el er uendret fra år 1996 på 500 GWh/år. Investeringsbehovet har vi antatt er 2,55 kr/kWh_{el}. Dette tilsvarer middelverdien for treforedling og ferrolegeringer.

Kjemiske råvarer år 2003	El.kraft		Investeringer			El gj/ Forbruk
	GWh/år	MW _{el}	mill. kr	kr/ kWh _{el}	kr/kW _{el}	%
Gjenvunnet i dag	0					
Mulig ved middels investeringer	0					
Mulig ved store investeringer	500	100	1275	2,55		6,9
Elforbruk	7220					100

Tabell 3.12 Elproduksjon ved to investeringsnivå innen kjemiske råvarer år 2003

Bare en liten andel av elproduksjonen vil kunne beskrives som grønn el.

4 TILGJENGELIG SPILLVARME FRA INDUSTRIEN

I henhold til SSBs energibalanse for Norge var industriens energibruk i 2000 som vist i tabell 4.1
Tall for senere årstall er foreløpig ikke offisielle.

Energibalanse for industri år 2000 - Verdier i PJ	Sum	Kull og koks	Bark-avlut	Naturgass	Andre gasser	Bensin og parafin	Tungolje og mellomdestilat	El
Sum industri	373	55	26	27	52	1	29	182
Kjemiske råvarer	113	12		26	47	0	3	26
Aluminium	69	4		1	1	0	1	62
Treforedling	48	0	18	0	0	0	4	26
Ferrolegeringer	48	24			0	0	0	25
Annen industri	23	4	1	0	1	0	3	13
Næringsmidler	18		0	0	0	0	6	12
Trevarer	11		8	0	0	0	1	3
Andre mineralprodukter	10	4	0		1		2	2
Andre metaller	9	1			1	0	1	7
Sement og kalk	7	5					1	1
Jern og stål	7	3	0		1	0	0	3
Gummi og plastprodukter	5						1	3
Oljeboring	5						5	0

Tabell 4.1 Energibalanse for industri år 2000. Enhet PJ

Varmekraftproduksjonen i år 2000 var 496 GWh eller ca 1 % av industriens elforbruk.
I tabell 4.2 er fire energiintensive bransjer oppført med energitall omregnet til TWh/år

Energibalanse for industri år 2000 - Verdier i TWh	Sum	Kull og koks	Bark-avlut	Naturgass	Andre gasser	Bensin og parafin	Tungolje og mellomdestilat	El
Sum energiintensiv industri	103,6	15,28	7,22	7,50	14,41	0,28	8,06	50,56
Kjemiske råvarer	31,39	3,33		7,22	13,06	0	0,83	7,22
Aluminium	19,17	1,11		0,28	0,28	0	0,28	17,22
Treforedling	13,33	0	5,00	0	0	0	1,11	7,22
Ferrolegeringer	13,33	6,67			0	0	0	6,94

Tabell 4.2 Energibalanse for den energiintensive industri år 2000. Enhet TWh

Av energimengden på 103,6 TWh som brukes i energiintensiv industri vil bare 40-60 % finnes i produktet. Resten forlater prosessene som tapt energi i form av kjølevann, kjøleluft eller varme og brennbare gasser.

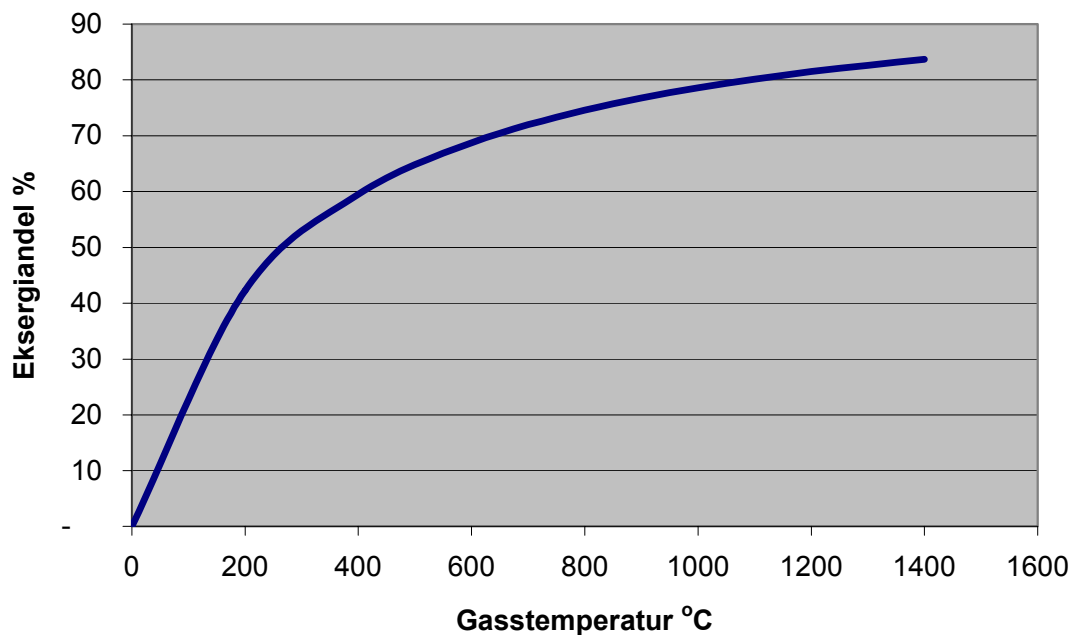
Jo høyere temperatur det er på den tapte energien jo lettere er det å gjenvinne den som nyttbar varme eller el. Tapenes eksergiandel er et uttrykk for gjenvinnings- potensialet, men andre forhold som tapenes størrelse, kontinuitet, forurensninger osv kan ha vel så stor betydning for gjenvinningspotensialet.

5 EKSERGIANDELEN I SPILLVARME

Eksergiandelen i en energistrøm angir den teoretiske andelen som kan omvandles til mekanisk energi. Eksergiandelen i en energistrøm med temperatur t ($^{\circ}\text{C}$) kan beregnes etter formelen

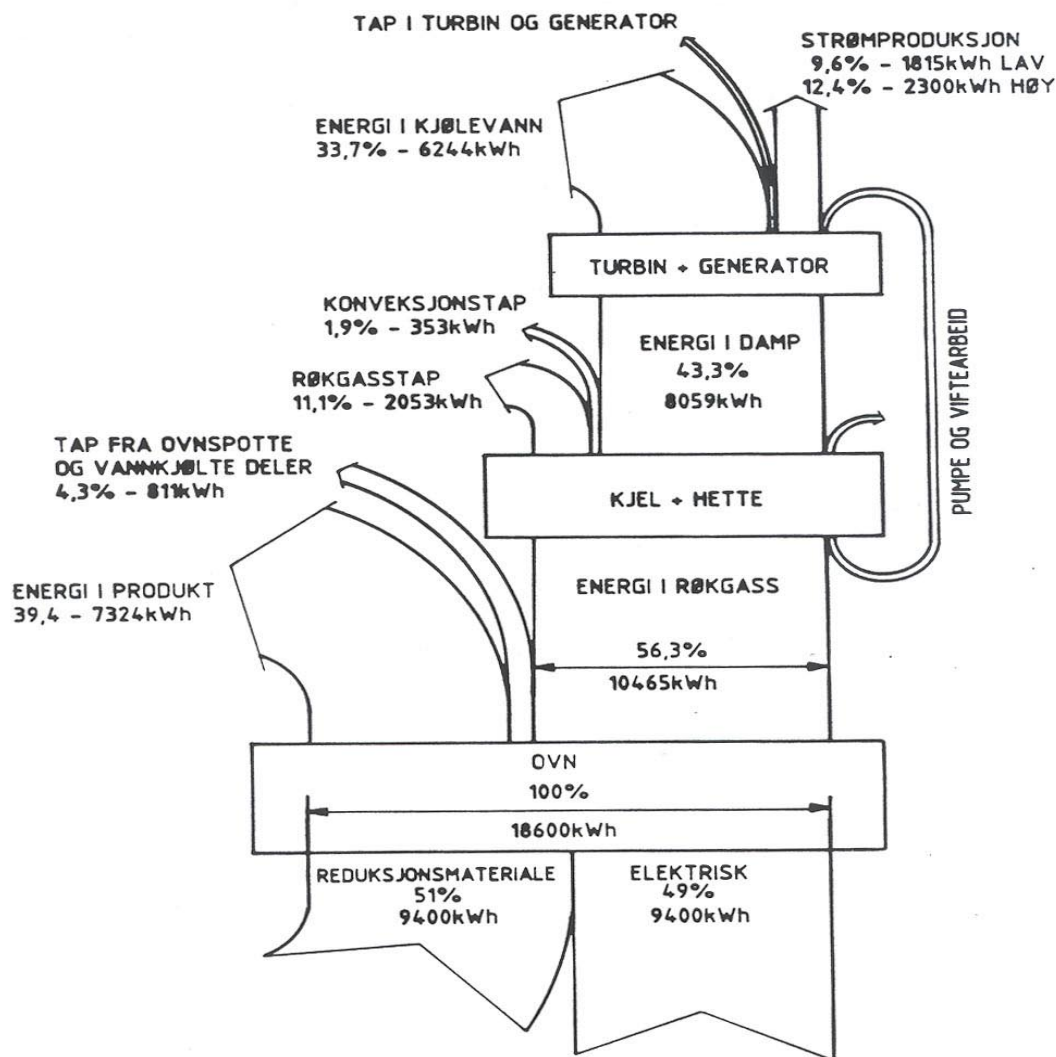
$$\text{Eksergiandel} = (1 - (273 + t_{\text{ref}}) / (273 + t)) * 100 \%$$

I figur 5.1 er eksergiandelen angitt med $t_{\text{ref}} = 0$ $^{\circ}\text{C}$. Ved beregning av eksergiandeler i energistrømmer kan det være hensiktsmessig å bruke andre verdier for t_{ref} . 20 og 80 $^{\circ}\text{C}$ kan være hensiktsmessig.



Figur 5.1 Eksergiandel som funksjon av gasstemperatur.

Av diagrammet fremgår det at jo høyere temperaturen er jo høyere er eksergiandelen og jo mer av energien kan teoretisk omvandles til mekanisk energi. Virkelig andel av en energimengde som kan omvandles til teknisk arbeid er bare en del av teoretisk eksergi. Forhold som kontinuerlig eller diskontinuerlige prosesser og størrelsen på energistrømmen (effekten) kan ha vel så stor betydning for gjenvinningspotensialet.



Figur 5.2 Energifordeling ved produksjon av 75 % Ferrosilium og elgjenvinning

På figur 5.2 er det vist energistrømmer ved produksjon av 75 % ferrolegering og elgjenvinning. Ved å angi temperaturen på de enkelte energistrømmer kan eksergiandelen i strømmene beregnes som vist i tabell 5.3

Energistrøm	Energiinnhold kWh/tonn	Temperatur °C	Eksergiandel %	Eksergi kWh/tonn
Produkt	7324	1200	81	5967
Vannkjølte deler	811	30	10	80
Røykgasstap	2053	150	35	728
Konveksjon kjel	353	60	18	64
Kjølevann	6244	20	7	426
Elproduksjon	1815		100	1815
Sum	18600		50	9080

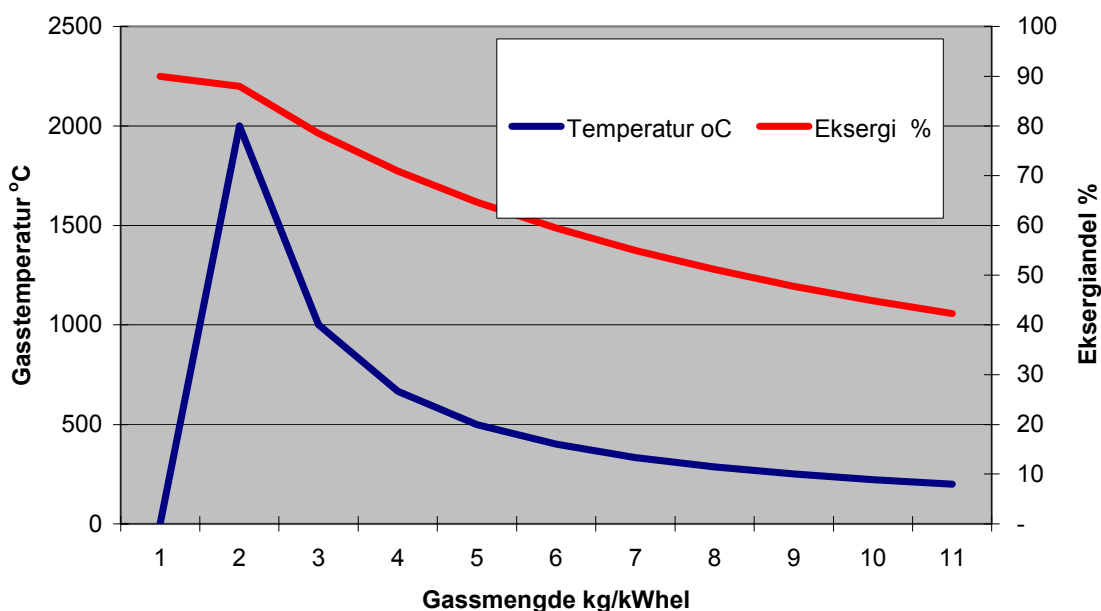
Tabell 5.3 Energi- og eksergistrømmer ved produksjon av 75 % FeSi.

Ved et anlegg som ikke gjenvinner energi vil eksergiandelene bli som vist i tabell 5.4

Energistrøm	Energiinnhold kWh/tonn	Temperatur °C	Eksergiandel %	Eksergi KWh/tonn
Produkt	7324	1200	81	5967
Vannkjølte deler	811	30	10	80
Røykgasstap	10465	800	35	7802
Sum	18600		74	13849

Tabell 5.4 Energi, temperatur og eksergi ved produksjon av 75 % FeSi

Produktet inneholder en høy energiandel både som kjemisk bundet energi og følbare energi, men denne kan vanskelig utnyttes i elproduksjon. Den viktigste energistrøm for energigjenvinning og elproduksjon er røkgassen. Teoretisk kan gassen forlate prosessen med en temperatur på ca 2000 °C, men av driftsmessige grunner blir den blandet opp med luft til temperaturen er 700-900 °C. dersom gassen skal energigjenvinnes, og ned til ca 150- 200 °C dersom den bare skal gassrensnes.



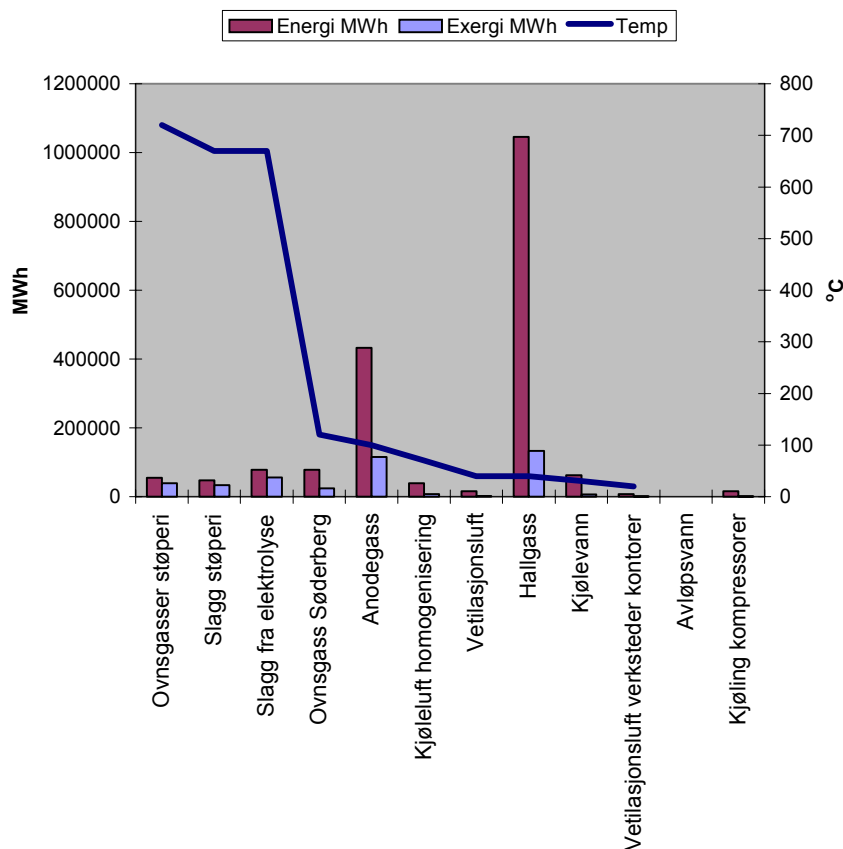
Figur 5.5 Gasstemperatur og eksergiandel i gass etter en FeSi prosess

I treforedling har de fleste energistrømmer som forlater prosessen lav temperatur og dermed lav eksergiandel. I PIL rapporten "Potensialet for mer miljøeffektiv energibruk og produksjon i norsk prosessindustri" utarbeidet av Kjelforeningen-Norsk Energi og Institutt for energiteknikk, ble det for treforedling angitt energiinnhold i kjølevann og avløp omtrent som vist i tabell 5.5. I tabell 5.5 er eksergiandelen beregnet med referansetemperaturen 0 °C.

Energistrøm	Energiinnhold GWh/år	Temperatur °C	Eksergiandel %	Eksergi GWh/år
1	400	25	8	34
2	500	30	10	50
3	1400	35	11	159
4	500	40	13	64
5	300	45	14	42
6	600	50	15	93
7	240	55	17	40
Sum	3940		12	482

Tabell 5.5 Energi, temperatur og eksergi i kjølevann og avløp fra treforedling

På figur 5.6 er det vist temperatur og eksergiandel ved prosesser ved et aluminiumsverk. Avgass fra støpeprosessene har høy temperatur og eksergiandel, men diskontinuitet og støvinnhold gjør energigjenvinning vanskelig og lite lønnsomt.



**Figur 5.6
Temperatur og eksergiandel ved energistrømmer ved et primær aluminiumsverk**

6 ELPOTENSIALET UT FRA DAGENS TEKNOLOGI OG KOSTNADSKLASSER

I tabell 6.1 er de fire bransjer som er vurdert sammenstilt med hensyn på elproduksjon og kostnadsklasser.

GWh/år (Kumulativ)	Ferrolegeringer		Treforedling		Aluminium		Kjemiske råvarer		Sum	
	GWh	mill.kr	GWh	mill.kr	GWh	mill.kr	GWh	mill.kr	GWh	mill.kr
Dagens produksjon	235		330						565	
Lavt kostnadsnivå	1035	1250	695	150	0	0			1730	1400
Høyt kostnadsnivå	2000	3000	895	1650	0	0	500	1275	3395	5925
Elforbruk 2000	6940		7220		17220		7220		50560	

Tabell 6.1 Elproduksjon ved to investeringsnivå innen energiintensiv industri

Vi antar at "Lav kostnadsnivå" er angitt med en nøyaktighet på +/- 15 % med hensyn til energi og med en nøyaktighet på +/- 25 % med hensyn til kostnader.

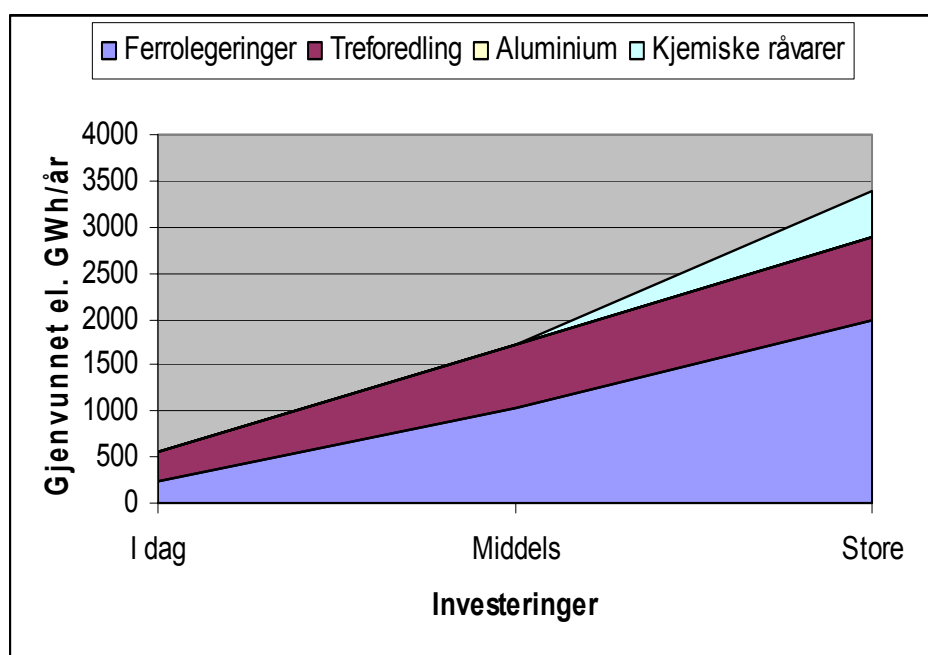
For "Høyt kostnadsnivå" er tallene henholdsvis +/- 25 og 50 %.

Med hensyn til tiden for gjennomføring av tiltakene er det antatt følgende:

"Lav kostnadsnivå" vil kunne gjennomføres innen en tidsperiode på 2-5 år.

"Høyt kostnadsnivå" vil kunne gjennomføres innen en tidsperiode på 7-12 år

På figur 6.2 er tabell 6.1 vist grafisk. Man ser av figuren at det største gjenvinningspotensialet er innen ferrolegeringer, og som beskrevet i 3.1 vil 50-60 % av elproduksjonen kunne oppnå grønne sertifikater. Elgjenvinningen innen treforedling vil være mindre, men her vil 80-90 % kunne oppnå grønne sertifikater.

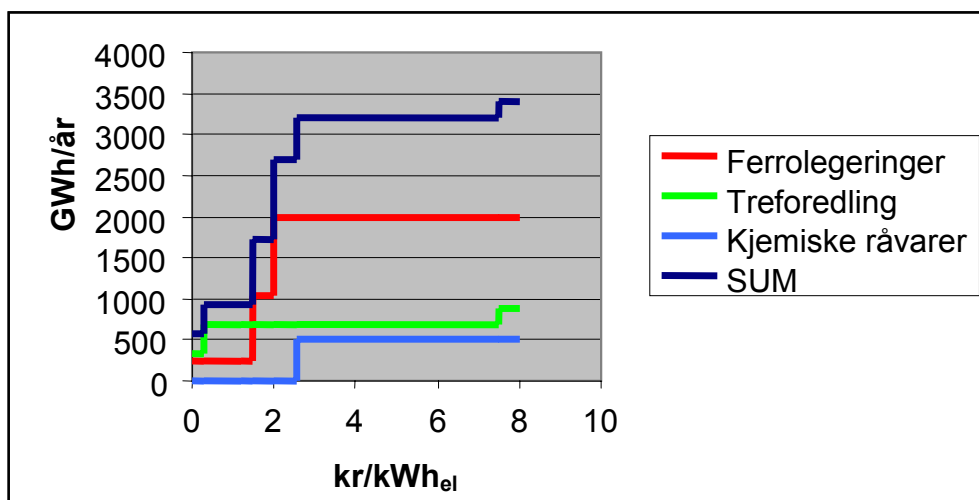


Figur 6.2 Gjenvunnet el som funksjon av investeringer angitt som middels og store

På figur 6.3 er gjenvunnet el i GWh/år vist som funksjon av investeringer i kr/kWh_{el} for tre bransjer:

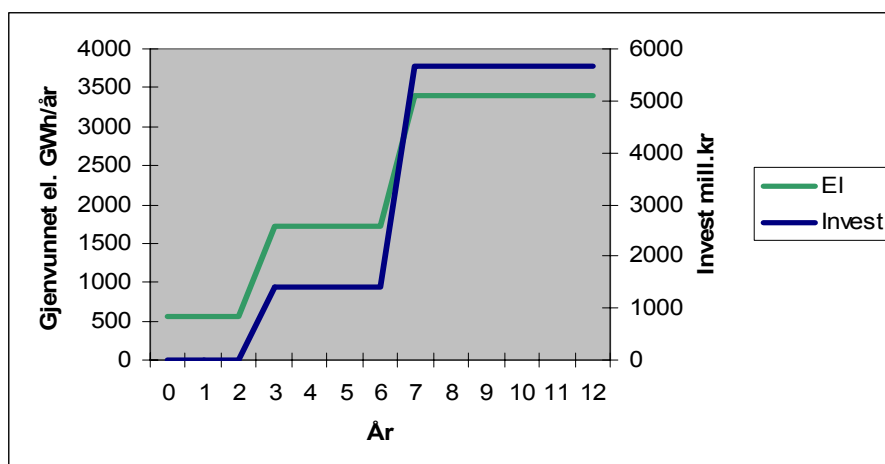
- Treforedling
- Ferrolegeringer
- Kjemiske råvarer

Aluminium er ikke tatt med da vi antar at det ikke blir aktuelt å gjenvinne el innen denne industrien i den tidsperiode denne rapport omfatter.



Figur 6.3 Gjenvunnet el som funksjon av investeringer for tre bransjer innen energiintensiv industri

På figur 6.4 er det vist hvordan gjenvunnet el og investeringsbehovet vil kunne øke over tid. Diagrammet er tegnet som en trappekurve, men virkeligheten vil ha mer karakter av aritmetisk middel. Diagrammet må betraktes som et scenarium. Historien tilsier at maksimal gjenvinning vil ta lengre tid.



Figur 6.3 Gjenvunnet el og investeringsbehovet som funksjon av tid

7 INSTALLERTE DAMPTURBINER I NORGE

I tabell 7.1 er oppført installerte dampturbiner > 1 MW i Norge

Bedrift	Effekt MW	Driftstype	Produksjon	Fabrikkat	Startår
Sødra Cell Tofte	40,0	Kondensasjon	El	BBC	1979
Sødra Cell Tofte	9,8	Mottrykk	El	BBC	1979
Statoil Tj.bergodden	31,2	Kondensasjon	El	Pignone	1997
Elkem Bjølvefossen	8,0	Kondensasjon	El	Siemens	2000
Elkem Thamshavn	22,2	Kondensasjon	El	Siemens	1981
Oseberg	17,0	Kondensasjon	El	Stal	2000
Snorre	15,0	Kondensasjon	El	Stal	2001
Tinfos Øye smelteverk	14,0	Kondensasjon	El	Siemens	1981
Norske Skog Skogn	10	Kondensasjon	El	BBC	1968
Norske Skog Saugbrugs	11,0	Mottrykk	El	BBC	1968
Norske Skog Follum	11,6	Mottrykk	El	BBC	1969
Norske Skog Union Bruk	12,0	Mottrykk	El	Siemens	1982
Viken energi Klemetsrud	10,0	Mottrykk	El	AEG	1985
Bergen Renhodsverk	10,0	Mottrykk	El	ABB	2000
Eldfisk	11,0	Kondensasjon	El	Stal	2000
Svalbard	5,0	Kondensasjon	El	AEG	
Svalbard	5,0	Kondensasjon	El	AEG	
Norsk Hydro Rafnes	19	Kondensasjon	Mekanisk	Siemens	
Statoil Tj.bergodden	18,5	Kondensasjon	Mekanisk	Pignone	
Norsk Hydro Herøya	9,0	Mottrykk	Mekanisk		
Statoil Kårstø	5,6	Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Statoil Kårstø	3,4	Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Statoil Kårstø	3,4	Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Statoil Mongstad		Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Statoil Mongstad		Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Statoil Mongstad		Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Statoil Mongstad	2,4	Mottrykk	Mekanisk	Siemens	
Orkla Borregard	1,7	Mottrykk	Mekanisk	KKK	

Tabell 7.1 Installerte dampturbiner > 1 MW

Av tabellen fremgår det at den største dampturbinen i Norge er en 40 MW kondensasjonsturbin på Sødra Cell Tofte. Ved bedriften har man også en mottrykksturbin på 9,8 MW. Bedriften selger i dag grønne sertifikater tilsvarende 80-90 % av elproduksjonen.

Av tabellen fremgår det også at det finnes flere dampturbiner som ikke produserer el, men er koblet mekanisk til pumper, kompressorer o.l.