

Miljøprojekt nr. 138

1990

Renere teknologi på energiområdet

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Miljøprojekt

- Nr. 80 : Svømmebade og sygdomsrisici
- Nr. 81 : Lokale forureninger og helbredseffekter
- Nr. 82 : QSAR og toksikologi – en ny strategi i kemikalievurdering
- Nr. 83 : Forurening fra gamle affaldsdepoter uden kemikalieaffald
- Nr. 84 : Alternativ lossepladsteknologi – en litteraturgennemgang
- Nr. 85 : Tilførsel af næringsstoffer til vandløb
- Nr. 86 : Genanvendelse af tekstilaffald
- Nr. 87 : Substitution af PVC-plast med andre plastmaterialer
- Nr. 88 : Emballage til mælk og juice
- Nr. 89 : Vandressourcerne og klimasvingninger
- Nr. 90 : Nikkelafgivelse fra metallegeringer
- Nr. 91 : Algetoksicitetstest
- Nr. 92 : CFC- forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 93 : Mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer i grundvand
- Nr. 94 : Genanvendelse af madaffald fra storkøkkener i København
- Nr. 95 : Bundfaunaundersøgelser som redskab til overvågning
- Nr. 96 : Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger
- Nr. 97 : Renere teknologi i fiskeindustrien
- Nr. 98 : Renere teknologi i træ- og møbelbranchen
- Nr. 99 : Kompostering af haveaffald i Frederiksborg amt
- Nr. 100 : Hazard assessment of 1,1,1-Trichloroethane
- Nr. 101 : Organiske opløsningsmidler i husholdningsprodukter
- Nr. 102 : Fuglefaunaen på konventionelle og økologiske landbrug
- Nr. 103 : Sprøjtefri randzoner i kornmarker
- Nr. 104 : Miljøforbedring ved hovedseparation i rejepilleindustrien
- Nr. 105 : Forbrug af og forurening med bly i Danmark
- Nr. 106 : Haloner – forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 107 : Galvanisk overfladebelægning uden affald og spildevand
- Nr. 108 : Madaffald fra storkøkkener – organisation af indsamling og oparbejdning
- Nr. 109 : Erstatningsstoffer for fosfat – spredning og effekter i miljøet
- Nr. 110 : Olie/kemikalieaffald – en spørgeskemaundersøgelse
- Nr. 111 : Undersøgelser af vejledende pyritgrænseværdier
- Nr. 112 : Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept
- Nr. 113 : Storskrald og haveaffald
- Nr. 114 : Papirindsamling via specialcontainere og genbrugsstation
- Nr. 115 : Vandmiljøplanens overvågningsprogram
- Nr. 116 : Renere teknologi i svine- og kreaturslagteribranchen
- Nr. 117 : Dioxinmission ved affaldsforbrænding
- Nr. 118 : Klokilders betydning for dioxindannelse ved forbrænding
- Nr. 119 : Okkerrensning i forbindelse med landbrugsmæssig dræning
- Nr. 120 : Kontrol af køretøjer med katalysator
- Nr. 121 : Forurenede industrigrunde
- Nr. 122 : Indsamling af papir og pap fra erhvervsvirksomheder
- Nr. 123 : Risikovurdering af forurenede grunde
- Nr. 124 : Vedligeholdelse af køle-smøremidler
- Nr. 125 : Fugleføde i kornmarker – insekter og vilde planter
- Nr. 126 : Miljøvenlige malematerialer i jernindustrien
- Nr. 127 : Miljøfremmede, organiske stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 128 : Nedsivning fra byggeaffald
- Nr. 129 : Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald – del 1
- Nr. 130 : Forureningsfri galvanomaskiner til værkstedsbrug
- Nr. 131 : Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer
- Nr. 132 : PVC i kontorartikler, sundhedssektor, m v
- Nr. 133 : PVC i byggeri og anlæg
- Nr. 134 : PVC i emballage
- Nr. 135 : Hjemmekompostering
- Nr. 136 : Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning
- Nr. 137 : Regulering af forurening fra afløbssystemer under regn
- Nr. 138 : Renere teknologi på energiområdet

Miljøprojekt nr. 138

1990

Renere teknologi på energiområdet

Anette Gydesen
Dorte Maimann
Preben Buhl Pedersen
Morten K. Hansen
Benny Bruhn
Claus Bidstrup

Energigruppen
Fysisk Laboratorium III,
Danmarks Tekniske Højskole

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**

Miljøstyrelsen vil, når lejlighed 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

	Forord	side 7
	Synopsis	9
1.	Indledning	11
1.1	Baggrund for projektet	11
1.2	Formål med projektet	16
1.3	Rapportens opbygning	16
2.	Metode	19
2.1	Energisystemet i RT-perspektiv	19
2.2	Livsforløbsbetragtninger	21
2.2.1	<i>Fremstilling</i>	22
2.2.2	<i>Drift</i>	23
2.2.3	<i>Afvikling</i>	24
2.2.4	<i>Samlet analyse</i>	24
2.2.5	<i>Checkliste</i>	26
2.3	Helhedsbetragtninger af energiteknologier	27
2.4	Referencesystem	28
3.	Energiforbrug	31
3.1	Struktur i dag	32
3.2	Effektiviseringsmuligheder	32
3.2.1	<i>Elbesparelser</i>	32
3.2.2	<i>Varmebesparelser</i>	37
3.2.3	<i>Besparelser på procesområdet</i>	38
3.2.4	<i>Besparelser inden for transportområdet</i>	39
3.3	Samlede besparelsesmuligheder	43
3.4	Specielle behov for teknologisk udvikling	43
4.	Energiforsyning	45
4.1	Energidistribution	45
4.1.1	<i>Eldistributionsnet</i>	45
4.1.2	<i>Gasdistributionsnet</i>	46
4.1.3	<i>Fjernvarmenet</i>	46
4.1.4	<i>Andre energibærere</i>	47
4.2	Energiproduktion	48
4.2.1	<i>Elproduktion</i>	49
4.2.2	<i>Varmeproduktion</i>	52
4.2.3	<i>Kraftvarmeproduktion</i>	54

4.3	Energikilder	58
4.3.1	<i>Fossile energikilder</i>	58
4.3.2	<i>Fornybare energikilder</i>	60
4.3.3	<i>Vedvarende energikilder</i>	61
4.4	Specielle behov for teknologisk udvikling	62
5.	Systembetragtninger	65
5.1	Energisystemet i dag	65
5.1.1	<i>Elforbrug - elforsyning</i>	67
5.1.2	<i>Varmeforbrug - varmforsyning</i>	68
5.1.3	<i>Samproduktion af el og varme</i>	70
5.2	Systembetragtninger i forhold til RT-initiativer	71
5.2.1	<i>Udbygning med kraftvarme</i>	71
5.2.2	<i>El og varmebesparelser</i>	74
5.2.3	<i>Forøget anvendelse af VE og fornybare energikilder</i>	75
5.3	Fleksibilitet af energisystemet	77
5.3.1	<i>Varmelagre</i>	77
5.3.2	<i>Ellagre</i>	78
5.3.3	<i>Et energisystem med brint som "energibærer"</i>	79
5.4	Specielle behov for teknologisk udvikling	80
6.	Livsforløbsanalyser	83
6.1	Energiindhold i materialer	85
6.1.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	85
6.1.2	<i>Effektivitetsforbedringer</i>	86
6.1.3	<i>Forarbejdningsstillæg</i>	87
6.1.4	<i>Materialelisten</i>	88
6.2	Lavenergipærer	91
6.2.1	<i>Fremstilling</i>	93
6.2.2	<i>Drift</i>	95
6.2.3	<i>Afvikling</i>	95
6.2.4	<i>Samlet analyse</i>	95
6.3	Køleskab	97
6.3.1	<i>Fremstilling</i>	97
6.3.2	<i>Drift</i>	101
6.3.3	<i>Afvikling</i>	102
6.3.4	<i>Samlet analyse</i>	103
6.4	Elgryder	107
6.4.1	<i>Fremstilling</i>	108
6.4.2	<i>Drift</i>	110
6.4.3	<i>Afvikling</i>	110
6.4.4	<i>Samlet analyse</i>	111
6.5	Passiv solvarme	113
6.5.1	<i>Fremstilling</i>	113
6.5.2	<i>Drift</i>	115
6.5.3	<i>Afvikling</i>	116
6.5.4	<i>Samlet analyse</i>	116

6.6	Bygningsisolering	119
6.6.1	<i>Fremstilling</i> 120	
6.6.2	<i>Drift</i> 120	
6.6.3	<i>Afvikling</i> 121	
6.6.4	<i>Samlet analyse</i> 121	
6.7	Vindmøller	123
6.7.1	<i>Fremstilling</i> 123	
6.7.2	<i>Drift</i> 125	
6.7.3	<i>Afvikling</i> 125	
6.7.4	<i>Samlet analyse</i> 126	
6.8	Solceller	129
6.8.1	<i>Fremstilling</i> 130	
6.8.2	<i>Drift</i> 133	
6.8.3	<i>Afvikling</i> 134	
6.8.4	<i>Samlet analyse</i> 134	
6.9	Kulstøvsfyret kraft- og kraftvarmeværk	139
6.9.1	<i>Fremstilling</i> 140	
6.9.2	<i>Drift</i> 142	
6.9.3	<i>Afvikling</i> 149	
6.9.4	<i>Samlet analyse</i> 150	
6.10	Oliefyret vandbåren opvarmning	153
6.10.1	<i>Fremstilling</i> 153	
6.10.2	<i>Drift</i> 156	
6.10.3	<i>Afvikling</i> 157	
6.10.4	<i>Samlet analyse</i> 158	
6.11	Aktiv solvarme	161
6.11.1	<i>Fremstilling</i> 161	
6.11.2	<i>Drift</i> 163	
6.11.3	<i>Afvikling</i> 163	
6.11.4	<i>Samlet analyse</i> 164	
6.12	Konklusion vedr. livsforløbsanalyser	167
6.12.1	<i>Gennemførelsen af livsforløbsanalyser</i> 167	
6.12.2	<i>Anvendelse af LFA</i> 168	
6.12.3	<i>Anbefalinger til nye projekter</i> 170	
7.	Konklusioner og anbefalinger	173
7.1	Prioteringsværktøj	174
7.2	Hvordan opfyldes en målsætning om renere teknologi på energiområdet	176
7.2.1	<i>Forbrug</i> 177	
7.2.2	<i>Forsyningsiden (el- og varmekonsum)</i> 179	
7.2.3	<i>Sammenkobling mellem forsyning og forbrug</i> 182	
7.3	Anbefalinger	185
7.3.1	<i>Energibesparelser</i> 185	
7.3.2	<i>Distributionsteknologier</i> 186	
7.3.3	<i>Energiproduktionsanlæg</i> 186	
7.3.4	<i>Energikilder</i> 187	
7.3.5	<i>Generelt</i> 187	
	Referenceliste	189

Forord

Dette projekt er udført af energigruppen, Fysisk Laboratorium III på Danmarks tekniske Højskole og er finansieret af Rådet for genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Projektgruppen bestod af civilingeniør Annette Gydesen, civilingeniør Dorte Maimann, civilingeniør Preben Buhl Pedersen, stud. polyt. Morten Hansen, stud. polyt. Claus Bidstrup og stud. polyt. Benny Bruhn. Desuden har der i perioden været tilknyttet et teknisk kursusarbejde som indgår i rapporten. Kursusarbejdet er udført af stud. polyt. Ann Vikkelsø.

Projektet er blevet fulgt af en styregruppe bestående af Poul Erik Morthorst, RISØ, Per Christensen, AUC, Peter Bach, Energistyrelsen, Karsten Skov, Jens Peter Christensen og Peter Pouplier, Miljøstyrelsen, Niels I. Meyer, Energistyrelsens styregruppe for udvikling af vedvarende energi (og Fysisk Laboratorium III) og Jørgen Nørgård, Fysisk Laboratorium III.

Rapportens kapitler er løbende blevet diskuteret med styregruppen. Ansvarlig for indholdet i rapportens kapitler er imidlertid alene projektgruppen.

Desuden er rapporten blevet læst og kommenteret af cand. polit. Lennart Emborg, Fysisk Laboratorium III og civilingeniør Bjarne Juul-Kristensen, Fysisk Laboratorium III.

Synopsis

Med udgangspunkt i det generelle princip om renere teknologi har vi i dette projekt konkretiseret, hvad renere teknologi indenfor energiområdet er. Der er udviklet metoder til at analysere energiteknologier med henblik på at vurdere hvilke tiltag, der kan gøre teknologierne renere. Anvendelsen af de udviklede analysemetoder illustreres ved udvalgte eksempler på forskellige energiforsynings- og energiforbrugsteknologier. Vi har endvidere beskrevet, hvordan energisystemet er opbygget i dag samt hvilke emissioner og miljøeffekter, der er forbundet med det. Endelig har vi påpeget forskellige indsatsområder for renere teknologi på energiområdet, indenfor hvilke vi mener der er behov for forskning, udvikling og implementering.

I rapporten konstateres det, at energianvendelse giver anledning til væsentlige forureningsproblemer, og derfor er det vigtigste renere teknologi initiativ at spare mest muligt på energiforbruget. Desuden konkluderes det, at energiproduktion på basis af kul- og oliefyring giver anledning til de væsentligste forureningsproblemer, og derfor bør kul og olie som energikilder substitueres med andre energikilder som vedvarende energi, f.eks sol og vind, fornybare brændsler som halm, træ og andre energiafgrøder samt naturgas. I rapporten påpeges også, at det er vigtigt at vurdere energiforbrug samt miljø- og arbejdsmiljøproblemer ved fremstilling og afvikling af teknologierne, fordi teknologier, som i driftsfasen kan betegnes som renere teknologier, kan være særdeles energiforbrugende og/eller miljø- og arbejdsmiljøbelastende i fremstillings- og afviklingsfaserne.

I kapitel 1 beskrives baggrunden for og formålet med projektet. Kapitel 2 indeholder en beskrivelse af analysemetoderne og i afsnit 6.12 findes konklusioner på livsforløbsanalyserne. I kapitel 7 findes konklusioner på hele rapporten samt anbefalinger til indsatsområder. Disse kapitler kan derfor med fordel læses, hvis man vil have et hurtigt overblik over rapportens indhold.

1. Indledning

1.1. Baggrund for projektet

Brundtlandrapporten

En række officielle, internationale rapporter har på markant måde påpeget de voksende problemer for vores naturmiljø, globalt, regionalt og lokalt. Senest er kommet rapporten *'Vor fælles fremtid'* fra Verdenskommissionen for Miljø og Udvikling (Brundtland-kommissionen) fra 1987. Disse rapporter understreger, at det er nødvendigt at reducere forureningsbelastningen væsentligt, for at en bæredygtig udvikling kan opnås.

Rensning

Den gældende miljøbeskyttelseslov bygger i hovedsagen på den tanke, at indsatsen med at forebygge og afværge forureningen skal ske ved at stille krav om rensnings- eller afværgeforanstaltninger i forbindelse med de kilder på virksomheder, som udsender forurenende stoffer til luften og vandet. Fokus har således været på mængder og koncentrationer af forurenende stoffer, som udledes af henholdsvis spildevandsrør og skorstene. Dette har givet mulighed for at flytte forureningen fra luftforurening til vandforurening ved at vaske røggassen, fra luftforurening til fast affald ved at filtrere røggassen, og fra vandforurening til fast affald ved at deponere slam fra et spildevandsanlæg. Denne flytning af belastningen fra luft til vand eller jord kan ikke anses for at være en miljømæssig tilfredsstillende løsning på lang sigt, men kun betragtes som midlertidige nødløsninger.

Flytning af forurening

Forebyggende indsats

Det er derfor nødvendigt at sætte ind med forebyggende foranstaltninger, som ud fra et helhedsperspektiv søger at begrænse energi- og ressourceanvendelsen mest muligt. Forureningsbegrebet må bygge på en vurdering af hele det kredsløb, som stoffer, produkter og materialer gennemløber fra udvinding, oparbejdning, behandling, montering, til forbrug og bortskaffelse ved genanvendelse, deponering og forbrænding. (ref 1.1)

Hindre at forureningen opstår

Renere teknologi

Princippet om renere teknologi (i det følgende ofte benævnt RT) indebærer, at man i videst muligt omfang søger at hindre, at forurening opstår, ikke alene i den primære produktionsproces men også i senere led af vare- og materialekredsløbet. Vægten lægges således på den forebyggende indsats til begrænsning af forurening, snarere end på den afhjælpende indsats i form af rensning og destruktion af forurenende stoffer, produkter og materialer.

Bag princippet om renere teknologi ligger der en erkendelse af, at en forureningsbekæmpelse, som kun retter sig mod et led i kredsløbet, f.eks. produktionsleddet, og betragter dette isoleret, måske blot medfører at problemet flyttes over i næste led.

Bredt begreb

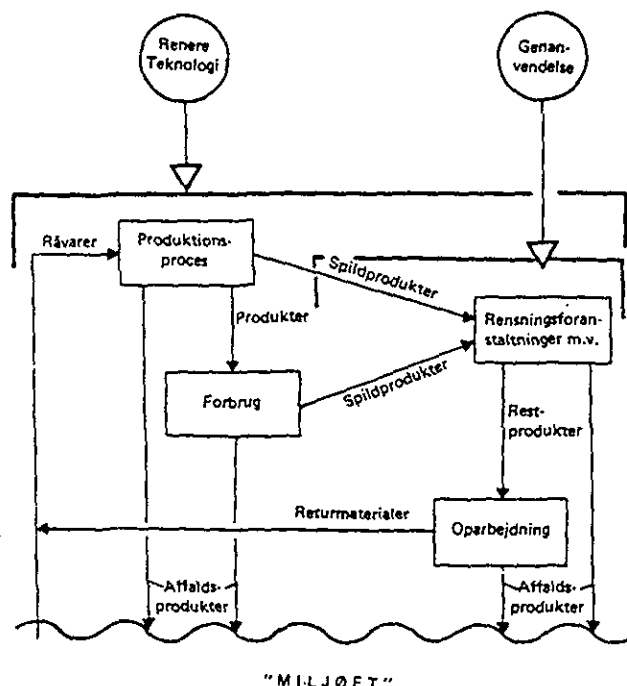
Det er imidlertid vigtigt at understrege, at princippet om renere teknologi ikke alene vedrører teknologi i snæver forstand. Mindre forurenende, mindre ressourceetunge og mindre energikrævende produkter og materialer er også omfattet af begrebet.

Vedrørende særligt skadelige eller betænkelige stoffer, produkter og materialer bør man - i videst muligt omfang - først vurdere mulighederne for at erstatte med mindre betænkelige, dernæst undersøge mulighederne for gennem optimering af produktionsprocesserne at begrænse anvendelsen af disse ved benyttelse af

lukkede systemer og endelig i videst muligt omfang at genanvende disse stoffer, produkter og materialer, således at de i mindst muligt omfang tilføres miljøet. Samtidig må det vurderes, om disse stoffer er betænkelige for arbejdsmiljøet, og arbejdet med dem må ske under forsvarlige forhold.

Miljøministeriet har igangsat flere programmer til indførelse af renere teknologi principper forskellige steder. Der er bl.a. vedtaget en ny lov om kemiske stoffer og produkter (ref. 1.2), og der er et lovforslag om en ny lov til miljøbeskyttelse (ref. 1.1), som begge lægger vægt på at fremme anvendelsen af renere teknologi.

Princippet om renere teknologi kan illustreres, som vist i figur 1.1.



Figur 1.1.

Principtegning af renere teknologivalg (ref. 1.3)

Begrebet renere teknologi kan defineres som bestående af mindst en (og helst alle) af følgende forandringer af teknologien (ref. 1.3):

- Ved ændring af produktionsprocessen, dens teknologi eller tilrettelæggelse kan man opnå en bedre udnyttelse af råvarerne, så der fra den enkelte produktion slipper mindre forurenende stof ud til omgivelserne. Stofstrømmene mindskes således.
- Ved ændringer i valget af de stoffer der indgår i produktet til mere miljøvenlige, kan man sikre at produkterne forurener mindre og eventuelt bedre vil kunne genbruges eller genanvendes. Dermed er der bedre mulighed for at der kan etableres genbrugskredsløb.
- Ved udvikling i produktdesign kan man forøge produktets levetid og sikre benyttelsen af eksempelvis mindre emballage. Ved mere holdbare produkter vil stofstrømmenes størrelse blive nedsat.

Arbejdsmiljøet vurderes

I alle processer må arbejdsmiljøet vurderes, således at belastningen med betænkkelige stoffer for de personer, der arbejder med teknologierne, minimeres. Ofte vil indførelse af renere teknologi medføre at de betænkkelige stoffer holdes i lukkede systemer, og dermed kan det forværre arbejdsmiljøproblemerne for de personer som arbejder med de betænkkelige stoffer.

Renere teknologi inden for energiområdet

Da energisektoren er årsag til en væsentlig del af forureningsbelastningen i det ydre miljø, er det vigtigt at få indført renere teknologier her. Der er *to aspekter* af dette, idet det er væsentligt at *producere energi* på en renere måde, men det er også meget vigtigt at *bruge* den på en renere måde - dvs. at få størst muligt udbytte af den. Energiområdets funktion er at kunne levere de *energiydelser*, som samfundet har behov for - ikke at bruge eller producere en vis mængde energi.

Energiydelser

Energisektorens forurening

For at sætte forureningen fra energisektoren lidt i perspektiv, kan vi se på, hvor stor en del af de menneskeskabte emissioner, der skyldes energisektoren. Den største del af energiforbruget sker på basis af afbrænding af fossile brændsler (som olie, kul og naturgas), som er kulstofforbindelser i undergrunden, der er opstået af nedbrudte plantedele fra tidligere tid.

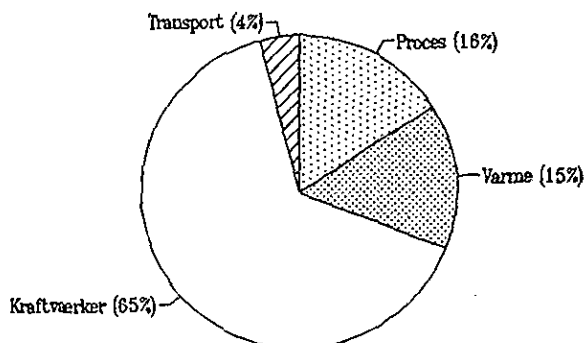
Fossile brændsler

Emissioner

De væsentligste emissioner fra energisektoren er CO_2 , SO_2 , NO_x , CO, *kulbrinter* (herunder PAH) og *tungmetaller* som cadmium (Cd), kviksølv (Hg) og bly (Pb). På figur 1.2, 1.3 og 1.4 er vist nogle af emissionernes størrelse og fordeling på sektorer. (Ref. 1.4 og 1.5)

SO_2 -emission

ca. 241.000 t/år i 1988

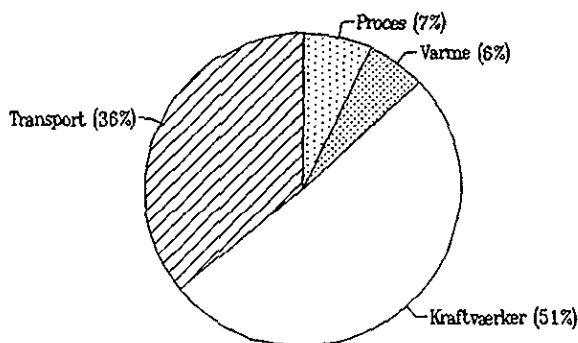


Figur 1.2

Emissioner og kilder til luftforurening med SO_2

NO_x -emission

ca. 248.000 t/år i 1988

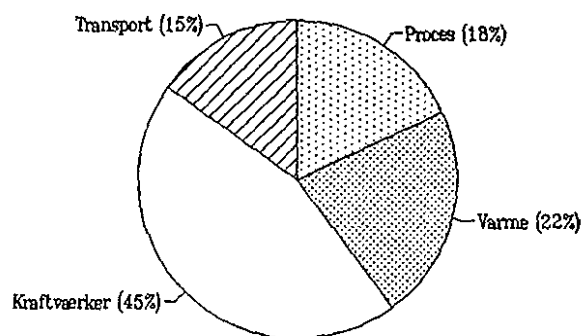


Figur 1.3

Emissioner og kilder til luftforurening med NO_x

CO₂-emission

ca. 60.000.000 t/år i 1988



Figur 1.4

Emissioner og kilder til luftforurening med CO₂

I Danmark kommer stort set al emission af CO₂, SO₂ og en stor del af NO_x-emissionen fra energisektoren.

PAH

Forureningen med PAH fra energisektoren var i 1985 på ca. 64.000 t/år.

Bly

Forbruget af bly som benzinadditiv var i 1985 af størrelsen 250 t/år, men er faldende på grund af stigende brug af blyfri benzin. Som følgestof i fossile brændsler blev der samme år afbrændt 250-300 t/år. Begge disse emissioner er i størrelsen 1% af det samlede danske blyforbrug. Emission af bly fra fossile brændsler til luften er ca. 10 - 15 t/år, og udgør den overvejende emission til luft.

Cadmium

For cadmium forholder det sig således, at ca. 10 t/år, svarende til 15% af den forbrugte cadmiummængde i 1987, skyldes afbrænding af kul og olie.

Kviksølv

Afbrænding af kul og olie giver en kviksølvemission på ca. 2 t/år, hvilket svarer til omkring 13% af den samlede kviksølvemission.

Affaldsforbrænding

I affald som brændes i forbrændingsanlæg er der også et stort indhold af tungmetaller, som bliver emitteret. Selvom den producerede varme udnyttes til fjernvarme medregnes disse emissioner ikke til energisektorens forurening, idet de ville forurene i alle tilfælde. Tungmetaller i affald som hidhører fra skrottede energiteknologier behandles under en aktuelle energiteknologi.

Miljøeffekter af emissioner fra energiområdet

Her forklares kort hvilke miljøeffekter, der er knyttet til de ovennævnte emissioner (ref 1.5 og 1.6).

CO₂: er årsag til ca. 55% af drivhuseffekten, som bevirker at jorderfladen opvarmes. Drivhusgasser har den egenskab, at de hæmmer varmeudstrålingen fra jorden, men ikke indstrålingen. Øvrige drivhusgasser er CFC-gasser, haloner, methan, lattergas, ozon og vanddamp. De fleste af disse er også mere eller mindre knyttet til forskellige energianvendelser.

- SO₂ :** indgår i kemisk forbindelse med vand til svovlsyre, og giver sur regn. Dette medfører forsurening af jord og vand, og kan resultere i skovdød, døde søer og vandløb. Desuden kan der ske skade på afgrøder og livet i de ferske vande. Bygningsmaterialer bliver eroderet af den sure nedbør. Tillige påvirkes menneskers luftveje af SO₂, der kan give forskellige luftvejssygdomme.
- NO_x :** NO₂ indgår i kemisk forbindelse med vand til salpetersyre, som har ekvivalente skadevirkninger som den sure nedbør fra SO₂ (se ovenfor). Desuden kan det i vand virke som gødning og medvirke til iltsvind. NO_x sammen med emission af kulbrinter medvirker til øget dannelse af ozon i stratosfæren. Disse stoffer medvirker også til dannelse af fotokemisk smog. Lattergas (N₂O) er en drivhusgas, samt medvirker til ødelæggelse af ozonlaget.
- HC :** Kulbrinter medvirker som ovenfor nævnt til dannelse af ozon i stratosfæren og fotokemisk smog sammen med NO_x. De polyaromatiske hydrocarboner (PAH) er kræftfremkaldende.
- Hg :** Kviksølv er et giftigt tungmetal. Det akkumuleres gennem fødekæden specielt via fisk. Kviksølv påvirker centralnervesystemet og kan give hjerneskader og fosterskader.
- Cd :** Cadmium er et giftigt tungmetal. Det oplagres i kroppen, specielt i nyrer og lever og kan i disse organer give kræft. Desuden er lungerne udsat for indholdet af cadmium i luften, og kan dermed give luftvejssygdomme.
- Ozon :** Ozon (O₃) dannes ved fotokemisk reaktioner mellem kulmonoxid, kulbrinter og kvælstofoxider. Foruden at være drivhusgas medvirker ozon også til skovdød mm.

Emission og skadevirkning

Det er vigtigt at nævne, at der ikke er nogen præcis, entydig sammenhæng mellem en given emission af et forurenende stof og omfanget af den skadevirkning, som emissionen forårsager i miljøet eller på menneskers helbred. Sammenhængen mellem emission og skadevirkning afhænger af en lang række forhold, bl.a. det påvirkede økosystems karakter og følsomhed, immisionen, dvs. koncentrationen af det forurenende stof i det pågældende medium (luft, vand og jord), samtidig tilstedeværelse af andre forurenende stoffer (synergieffekter) etc.

Alt i alt må det konstateres, at der ikke er viden nok om de forskellige stoffers indvirkning på miljøet, og derfor er det vigtigt, at emissioner af alle betænkelige stoffer forsøges minimeret.

Med indførelse af renere teknologi principper forsøges at regulere forbruget af stoffer, produkter mv., der på den ene side måske ikke i sig selv antages at give anledning til miljøskade eller sundhedsfare, men på den anden side heller ikke kan antages at være harmløse for miljø og sundhed. Behovet herfor udspringer af, at mange små bidrag af stoffer, der ikke isoleret betragtet giver anledning til større betænkeligheder, dog samlet kan indebære en negativ påvirkning af den økologiske balance i naturen eller af menneskers levevilkår.

1.2 Formål med projektet

Formål

Formålet med projektet er :

- med udgangspunkt i den generelle definition af renere teknologi at konkretisere begrebet renere teknologi på energiområdet
- at udvikle metoder til at analysere hvilke teknologier der vil være renere teknologier inden for energiområdet
- at opsummere, hvordan strukturen inden for energiområdet er idag og belyse de tilhørende miljøeffekter. Desuden vurderes det, hvilke miljøforbedringer der kan opnås ved valg af renere energiteknologier
- at anvende analysemetoderne på udvalgte centrale eksempler
- at påpege forskellige *indsatsområder for renere teknologi inden for energiområdet*. Det drejer sig både om områder inden for energiforsyning, som f.eks. renere energiproduktionsmetoder og valg af renere energikilder, samt områder inden for energiforbrugende teknologier.

Målgrupper

Målgrupper for projektet er:

- Beslutningstagere inden for energi- og miljøområdet
- Producenter af energiteknologier
- Forskningsudvalg og forskningsinstitutioner
- Øvrige engagerede i energi- og miljødebatten

1.3 Rapportens opbygning

Metode til analyser

Vi vil starte med i kapitel 2 at opstille en grov *forståelsesmodel for energisystemet* set i sammenhæng med begrebet renere teknologi. Begreber og udtryk som energitjeneste, energikæder mm. forklares. Dernæst gennemgår vi *opbygningen af livsforløbsanalyserne*, som er det egentlig nye element i denne rapport, og diskuterer hvordan man kan lave en samlet vurdering af livsforløbsanalyserne. Kapitlet afsluttes med en diskussion af, hvordan helhedsvurderinger kan laves, og hvilke referencerammer der kan bruges.

Teknologier til rådighed

I kapitel 3, 4 & 5 vil vi søge at skabe et overblik over energisystemet som det ser ud i dag, og de eventuelle fremtidige elementer af renere energiteknologier, der i dag kan tænkes at indgå i et fremtidigt system. De direkte miljøbelastninger samt specielle miljøproblemer fra energisystemets enkelte dele vil blive gennemgået. Strukturen i dette afsnit vil tage udgangspunkt i forbrugssiden med gennemgang af forbrug og effektiviseringsmuligheder i de enkelte sektorer. Dernæst behandles forsynings teknologier på tilsvarende måde, samt de energikilder vi har til rådighed. Efter gennemgangen af forbrugs- og forsynings elementerne, betragter vi systemet som helhed og diskuterer specielle forhold omkring sammenhængen mellem forbrugssiden og forsynings siden, f.eks. vedrørende bestemte energiteknologiers begrænsninger og bindinger i.f.t. renere teknologier.

Vi bestræber os på at gennemgangen relateres til RT-begrebet så vidt muligt. De enkelte afsnit afsluttes med en vurdering af forsknings- og udviklingsbehov i forhold til udbredelsen af renere energiteknologier.

Livsforløbsanalyser (LFA)

I kapitel 6 gives en række eksempler på LFA'er af både forbrugs- og forsyningsteknologier. Der er ikke tale om et komplet katalog over renere energiteknologier, men en samling LFA'er for udvalgte energiteknologier. Eksemplerne er udvalgt så de giver et varieret udsnit af de forskellige typer energiteknologier, man kan tænke at udføre LFA'er for. Disse analyser vil danne grundlag for en efterfølgende diskussion dels af analyseformen, dels af hvilke konklusioner, der kan uddrages fra de gennemgåede eksempler.

Samlet vurdering

I kapitel 7 konkluderes, hvilke initiativer man på grundlag af projektet, kan anbefale at igangsætte. Anbefalingerne vil specielt være rettet mod målgrupperne, men også mod andre myndigheder, samt offentlige og private institutioner, der er interesseret i at fremme en udvikling af renere energiteknologier.

2. Metode

Princippet om renere teknologi betyder grundlæggende, at man modsat rensning forsøger at hindre, at forurening i det hele taget opstår. På energiområdet vil det sige at helhedsvurdere energisystemet med henblik på at reducere miljøbelastninger. Renere energiteknologier er med andre ord teknologier, der uanset hvor i energisystemet de indgår, giver anledning til mindre miljøbelastninger fra det samlede energisystem, ved uændret ydelse. Set i et dynamisk perspektiv bør der i vurderingen også indgå, om teknologien er robust overfor ændringer udefra, så man ikke pludselig vælger uovervejede løsninger m.h.t. miljøbelastninger. Dette indebærer at renere energiteknologier også bør være fleksible, således at energisystemet løbende kan tilpasses nye forhold vedrørende f.eks. tilgængeligheden af bestemte energikilder, teknologispring mm.

Analysen

I det følgende vil vi kort gennemgå de analyser, der inddrages i vurderingen og hvilke eventuelle vanskeligheder, der kan være forbundet med brugen af dem.

2.1 Energisystemet i RT-perspektiv

Forståelsesmodel

Sammenhænge

Forståelsesmodellen i figur 2.1 illustrerer sammenhængene i energisystemet og synliggør de steder, hvor der kan være tale om at vælge eller udvikle renere teknologier.

Energitjenesteniveau

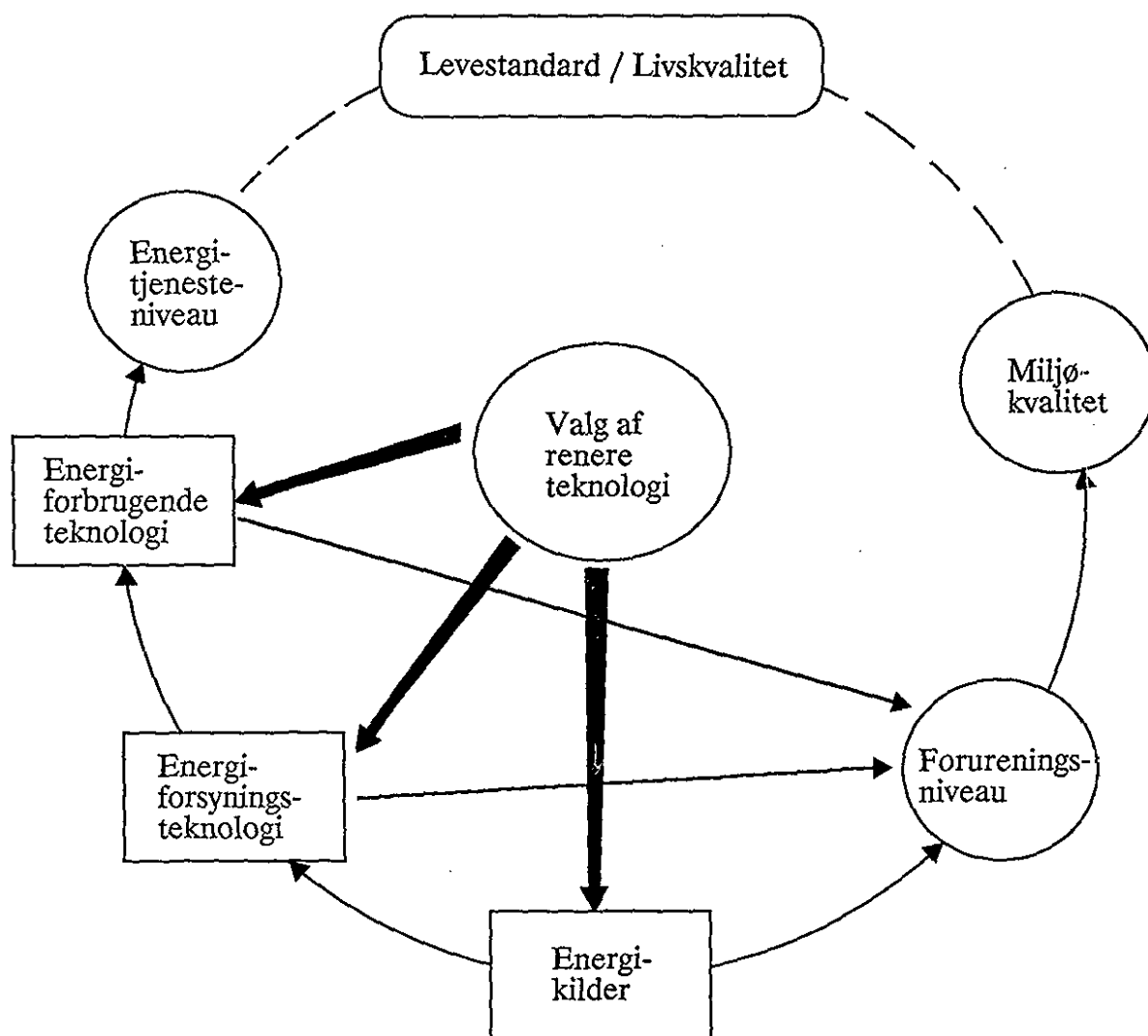
Den almindelige opfattelse af en rimelig levestandard er, at der er tilknyttet et vist energi-tjenesteniveau. Alle vil f.eks. gerne have mulighed for at tilberede varm mad, opbevare madvarer køligt, så de holder længere, have lys i hjemmet, selv når det bliver mørkt, komme på arbejde, producere varer, købe produkter osv. En vis sammensætning af disse tjenester er hvad vi forstår ved et energitjenesteniveau.

Energiforbrugende teknologi

Når dette energitjenesteniveau skal opfyldes, benyttes en række energiforbrugende maskiner, bygninger, apparater mv. (komfur, køleskab, lyskilder, varmeanlæg, fabrikker, biler, produktionsanlæg osv). Disse kan have mere eller mindre gode egenskaber som f.eks. brugsværdi, energivirkningsgrad, materialeforbrug, energiindhold, genbrugsværdi, skrotningsproblemer etc.

Energiforsyningsteknologi

De energiforbrugende apparater, bygninger, maskiner osv. skal forsynes med en vis mængde energi, afhængig af deres ydelse og effektivitet. Til dette er der etableret et energiforsyningssystem, der består af et overordnet energifordelingssystem (gas-, fjernvarme- og elnet), brændelskonverteringsanlæg (forgasningsanlæg, biogasanlæg m.fl.) og en række forskellige energiforsyningsteknologier som f.eks. kulkraftværker, kraftvarmeværker, vindmøller, oliefyr, solvarmeanlæg, bilmotorer osv. Også energiforsyningstrukturen og dens delelementer kan karakteriseres ved energivirkningsgrader, energiindhold, materialeforbrug osv.



Figur 2.1

Forståelsesmodel til illustration af indsatsområder for renere teknologi på energiområdet.

Energikilder

Endelig er der valget af energikilder, som kan være mere eller mindre rene brændsler, f.eks. olie, kul, biomasse, eller vedvarende energikilder som sol, vind osv.

Traditionelt er det energiproduktionsteknologierne, der opfattes som årsag til forurening af vore omgivelser, men faktisk er det valget af energitjenesteniveau, energiforbrugende teknologi, energiforsyningsteknologi og energikilder, som tilsammen giver anledning til forureningen. Dette sker både i kraft af den direkte forurening fra energiforsyningsteknologierne og i kraft af indirekte miljøpåvirkninger fra såvel produktion af både forsynings- og forbrugsteknologier, som skrotning af disse. Produktion og skrotning af energiteknologierne giver nemlig anledning til dels et yderligere energiforbrug ved fremstilling af anlæg, apparater og materialer, dels emissioner til jord, vand og luft ved afbrænding og deponering af de udslidte energiteknologier.

Endelig kan der ved såvel produktion, drift og afvikling være arbejdsmiljømæssige problemer.

Indarbejdning af renere teknologi på energiområdet sker således dels ved en samlet systemanalyse, og dels ved livsforløbsanalyser af enkelte teknologier i energisystemet.

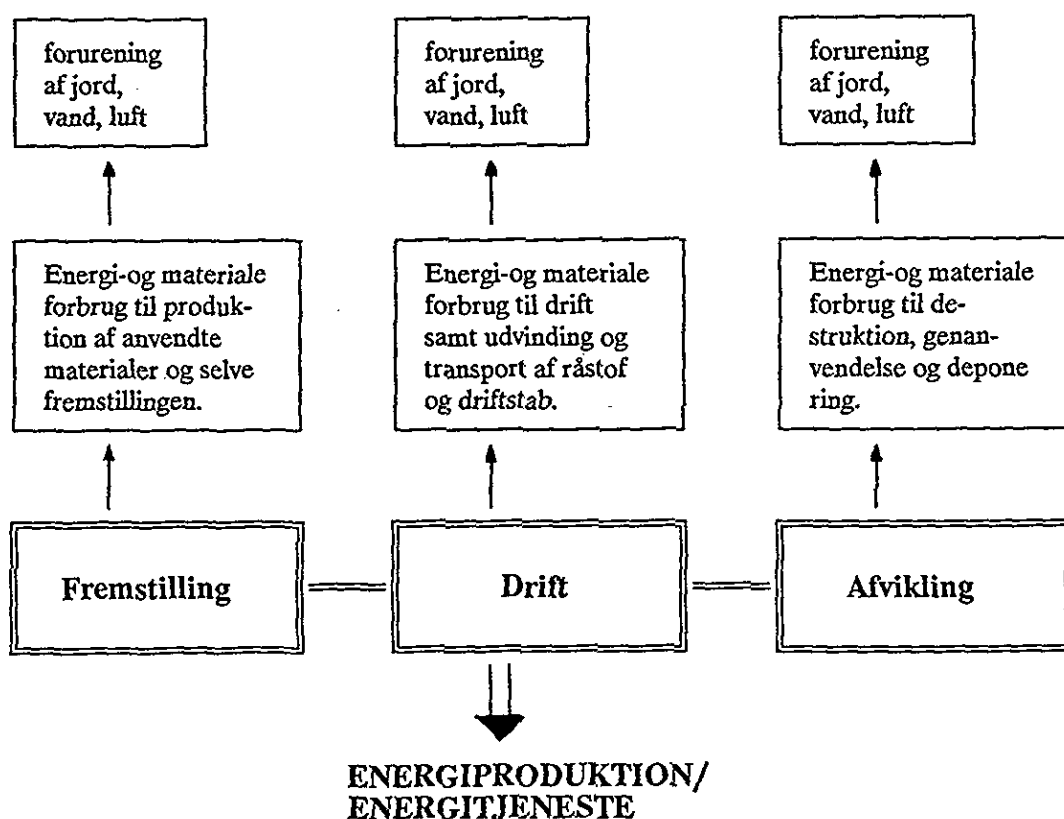
2.2 Livsforløbsbetragtninger

LFA

En af de analysemetoder, vi tager i anvendelse ved vurderingen af energiteknologierne, er, hvad vi kalder "livsforløbsanalyser" (forkortet: LFA). Energi- og materialestrømmene i systemerne kan beskrives parallelt for hvert enkelt led i livsforløbet. Figur 2.2 beskriver de energi- og stofstrømme en LFA bør indeholde. Udfra energi- og materialeforbrugene kan det vurderes, hvilken forurening den pågældende energiteknologi bidrager med.

Metodeudvikling

Det skal indledningsvis pointeres, at brugen af livsforløbsanalyser er en hel ny og uafprøvet analysemetode vedrørende energiteknologier. Derfor kan de forskellige LFA'er falde en del forskelligt ud, idet metoden bliver udviklet gennem brugen. Målet med at bruge denne analysemetode er derfor også at undersøge, hvorvidt denne metode er operationel m.h.t. at vurdere energiteknologier's "renhed".



Figur 2.2

Illustration af miljøbelastninger igennem livsforløb for energiteknologier.

Struktur af LFA

Følgende punkter er indeholdt i en livsforløbsanalyse. Analysen er opdelt efter om, der er tale om fremstilling, drift eller afvikling af teknologien. Der er en række emner, der går igen under de enkelte punkter, men der vil alligevel være nogle karakteristiske forskelle i behandlingen af dem under de forskellige livsafsnit. Da der kan være tale om teknologier af vidt forskellig art lige fra hele kraftværker til oliefyr, isolering af huse og elsparepærer, er det klart, at den følgende gennemgang bliver ret generel, og der må selvfølgelig foretages visse tilpasninger i forhold til den enkelte energiteknologi.

Farlige stoffer

Når der er tale om farlige stoffer for det ydre miljø, skal i hvert fald følgende stoffer ofres opmærksomhed: CO₂, SO₂, NO_x, kulbrinter (inkl. PAH), CFC-gasser, metan, PVC, samt tungmetallerne kviksølv, cadmium og bly. Hvad angår arbejdsmiljøbeskrivelser kan der være en række forskellige stoffer, som bør omtales alt afhængig af den enkelte teknologi. Det kemisk-biologiske arbejdsmiljø behandles, men psykisk arbejdsmiljø udelades.

2.2.1 Fremstilling

Materialeindhold

Materialestrømme

Vedrørende fremstilling af teknologien skal det fremgå hvilke materialer (metaller, legeringer, plast-typer, isoleringstype, etc.) der indgår i selve produktet (energiteknologien), og i hvilket omfang de bruges (mængder).

Øvrige ressourceforbrug

Det skal også fremgå hvilke øvrige materialer, der er anvendt i fremstillingsprocessen, f.eks. vandforbrug, opløsningsmidler mm.

Energiindhold

Energiforhold

Energiindholdet i produktet svarer til energiindholdet i de anvendte materialer, plus energiforbruget anvendt til fremstillingsprocessen.

Energiindholdet i materialerne beregnes ud fra materialeforbruget og den viden vi har om energiforbruget til fremstilling af materialerne. Energiindholdet angives som primærenergi (Wh eller J), dvs. som regel som den mængde kul eller olie, der er forbrugt til fremstilling af den sekundære energiform (varme, el eller mekanisk energi), der aktuelt er anvendt til fremstillingen af materialet.

Energiforbrug til fremstilling

Energiforbruget til selve fremstillingsprocessen angives. Dvs. det forbrug af energi, der er til fremstilling (forarbejdning, samling af materialer etc.) af teknologien. Alternativt kan fabrikkens samlede energiforbrug fordeles på produktionen, idet også energiforbrug til belysning, kontormaskiner osv. inkluderes, skønsmæssigt fordelt på de forskellige produkter, der fremstilles. Energiformen skal også angives, hvis det er muligt, dvs. om det er el, varme, olie, kul eller andet.

Transport

Transport

Endelig skal det vurderes om transporten af teknologien fra produktionsstedet til den endelige placering eller brugssted, er af en sådan størrelse, at den kan forårsage negative miljøeffekter af betydning for det samlede billede. Disse miljøeffekter kan dels være som følge af energiforbruget til fremdrift eller støj- og støvforurening, dels følgevirkninger af havari el.lign.

Restprodukter

Emissioner og miljøeffekter

Restprodukter fra produktionen skal opgøres, og det angives om, der er tale om materialestrømme, der genanvendes indenfor fabrikkens produktion eller udenfor, eller om det ender som affald i form af spildevand, fast affald eller emission til luften. Endelig bør det også fremgå, hvor affaldet ender, dvs. om det deponeres på losseplads, afbrændes, udledes til vandløb eller havområder, eller som lokal eller global luftforurening. Stoffer, som kan true det ydre miljø, identificeres, og konsekvenser beskrives kort.

Arbejdsmiljø
Kemisk-biologisk arbejdsmiljø Det kemisk-biologiske arbejdsmiljø undersøges. Stoffer der anvendes i produktionen og deres evt. farlighed beskrives. Der kan være tale om affedtningsmidler, opløsningsmidler, dampe fra opskumning, produktion af glasfiberremner og meget andet. Desuden angives det hvis produktionen er specielt støjende, eller på anden vis belastende for arbejdsmiljøet.

2.2.2 Drift

Energi- og ressourceforbrug
Energiforbrug Det er her afgørende for analysen at opgøre energiforbruget ved anvendelsen af den pågældende teknologi. Også ofte oversete hjælpeelforbrug (f.eks. halmsnittere på halmfjernvarmeværker) inkluderes. Hvis der er tale om en teknologi, som er energibesparende, skal det angives hvor meget, der spares i forhold til den almindeligt anvendte teknologi. Energiforholdene beskrives i forhold til den opnåede energitjeneste. Dvs. for energiforbrugsteknologierne bliver der en række forskellige energitjenester f.eks. kg vasket tøj, varm mad etc. For energikonverteringsteknologierne som f.eks. vindmøller og oliefyr, bliver der tale om et mere begrænset antal typer af energitjenester i den forstand, at det, de leverer, er en eller anden form for energi (el, høj- eller lavtemperaturvarme, mekanisk energi).

Energiressourcer Det er i driftfasen vigtigt at opgøre hvilke typer energiressourcer, der bliver forbrugt til fremstilling af energitjenesten. Er der tale om kul og olie, eller er der tale om biomasse eller vind.

Andre ressourceforbrug Andre ressourceforbrug under driften opgøres. Dette kan f.eks. være kølevand, diverse additiver, smøreløber etc. (selvfølgelig kun hvis det er et forbrug af betydeligt omfang eller med store miljø mæssige konsekvenser). Restprodukter fra driften af energiteknologier er oftest forbrændingsprodukter og affald fra forbrænding af både fossile og biomassebrændsler.

Restprodukter Restprodukterne fra driften af energiteknologien opgøres og det angives om restprodukterne genanvendes eller om de *kan* genanvendes. Hvis restprodukterne smides ud skal det angives om det er til luft, vand eller jord (herunder deponering).

Transport

Transportarbejdet i forbindelse med driften af teknologien opgøres. Typen af transportmidler og drivmidler angives.

Emissioner og miljøeffekter
Emissioner Miljøeffekter som følge af driften opgøres. Det drejer sig primært om effekten af de førnævnte restprodukter, dvs. både emitterede drivhusgasser og andre potentielt farlige stoffer, og udledning og deponering af restprodukter, der ikke kan genanvendes. Der kan desuden være tale om støj- og lugtproblemer, samt visuelle gener. Miljøeffekterne beskrives kort.

Transport Emissioner og evt. miljøeffekter afledt af transport af energiressourcer opgøres i det omfang det er rimeligt, dvs. det vurderes om det har nogen egentlig betydning i forhold til de øvrige miljøeffekter fra den pågældende teknologi. Miljøeffekten af transport kan især have betydning for fossile brændsler, idet disse ofte kommer langvejs fra. Også lokale energiressourcer kan dog indebære miljøproblemer (f.eks. lugt- og støvgener). Transporten

af restprodukter fra energianlægget og heraf kommende miljøgener, samt evt. problemer i forbindelse med opbevaring (lagring) af energiresourcer skal også med her.

Arbejdsmiljø

Arbejdsmiljø

Det bør undersøges hvorvidt der er arbejdsmiljømæssige problemer. Der kan være tale om større energianlæg, hvor der er ansat folk til driften, men også i forbindelse med forbrugsteknologier kan der være problemer med f.eks. ultralyd, mikrobølger mm.

Levetid

Endelig skal den normale levetid angives til brug for de egentlige livsforløbsbetragtninger.

2.2.3 Afvikling

Energi- og ressourceforbrug

Energi- og ressourceforbrug

Det skal undersøges om der er et væsentligt energi- og ressourceforbrug forbundet med afvikling af den behandlede energiteknologi. Specielt når det drejer sig om større energianlæg, kan der være et ekstra energi- og ressourceforbrug ved nedrivning og retablering af arealer. Hvis der er tale om ting der kræver specielle indsamlingsordninger (f.eks. CFC-opskummede isoleringsmaterialer), kan dette ligeledes give øget energi- og ressourceforbrug.

Transport

Transport

Også her skal det undersøges om der er nogle væsentlige gener forbundet med transport af den skrottede energiteknologi.

Genbrug/genanvendelse

Genanvendelighed

Ved afvikling af energiteknologierne er det specielt interessant at kende mulighederne for renovering og genbrug, eller genanvendelse af materialer. Det skal derfor undersøges i hvilket omfang det gøres. Specielt vedrørende forbrugsteknologierne er det vigtigt at vide om der findes indsamlingsordninger, som tager højde for dels muligheden for genanvendelse og dels evt. miljøfarlige stoffer indeholdt i teknologien (f.eks. CFC-gasser i skumisolering, tungmetaller mm).

Emissioner

Emissioner og miljøeffekter

Hvis renovering og genbrug ikke finder sted, skal det undersøges hvilke stoffer, der udledes til luft, vand (ofte grundvand) eller jord ved afbrænding eller deponering af den udslidte energiteknologi. Ved afbrænding kan der specielt være problemer med plast- og papirmaterialer der indeholder klor og overfladebehandlinger farvet med bl.a. tungmetaller.

Arbejdsmiljø

Arbejdsmiljø

Det skal undersøges om den skrottede energiteknologi kan give anledning til arbejdsmiljøproblemer i en renoveringssituation eller ved behandling i sorteringsanlæg el. lign.

2.2.4 Samlet analyse

Energi- og miljøforhold i hele livsforløbet

Under dette punkt kommer den egentlige livsforløbsanalyse. Energi- og ressourceforbrug, samt miljøeffekter opgøres i hele teknologiens livslængde. Dvs. energi- og ressourceforbruget til materialefremstilling, forarbejdning og samling af energiteknologien,

energiforbruget ved drift, evt. energiforbrug forbundet med afvikling, samt såvel arbejds- som ydre miljøeffekter igennem hele levetiden, sammenholdes med den energitjeneste teknologien har forsynet os med i sin driftfase. Følgende punkter bør medtages:

Energifaktor

Energitilbagebetalingstid

Ved at beregne forholdet mellem det samlede energiforbrug til fremstilling og skrotning og den årlige energiproduktion eller -besparelse for teknologien fremkommer den såkaldte "energitilbagebetalingstid". Denne størrelse er et ret unuanceret begreb, fordi den dækker over en række antagelser. Det er ikke givet, at der er tale om samme energikvalitet. Dette kan man dog til dels komme over ved at regne "tilbage" til primærenergi. Det er dog langt fra entydigt hvilken energikilde, der er tale om. Ud fra et miljømæssigt synspunkt er dette ikke ligegyldigt, idet de miljømæssige effekter kan være vidt forskellige alt efter energikilden. F.eks. er de miljømæssige effekter af brugen af kul som energikilde (CO₂-emission, + emission/deponering af andre forbrændingsprodukter og tungmetaller) vidt forskellig fra de miljømæssige effekter af vindenergi som kilde (støj- og visuelle gener).

Energifaktor

Vi kan dog stadig få et begreb om teknologiens energimæssige effektivitet igennem livsforløbet, ved at beregne en energifaktor. Energifaktoren defineres som forholdet mellem den samlede energiproduktion eller -besparelse gennem hele levetiden regnet i kWh el, varme osv. og det samlede energiforbrug til fremstilling, drift og afvikling af teknologien regnet i primær energi:

$$\text{Energifaktor} = \frac{\text{energiproduktion i driftfasen}}{\text{energiforbrug til fremstilling, drift og afvikling}}$$

Livsforløbseffektivitet

Til energiforbruget i driftsfasen medregnes for *VE-teknologier* energiindholdet i den vedvarende energikilde, der udnyttes (sol, vind, bølgekraft osv). For *energibesparende teknologier* betragtes den sparede energi i livsforløbet således som en slags energiproduktion, og i nævneren bruges *merenergiforbruget* til fremstilling og afvikling af den energibesparende teknologi i forhold til den erstattede teknologi. Jo højere energifaktoren er, desto bedre er *livsforløbseffektiviteten*. Bemærk, at energifaktorer for energiproduktionsteknologier er mindre end 1, mens energifaktorer for energibesparende foranstaltninger også kan blive større end 1. Energifaktoren siger noget om, hvor effektiv teknologien er i sig selv. For energiproduktionsteknologierne (både dem der anvender brændsler, og dem der anvender vedvarende energikilder) fortæller faktoren, hvor effektivt teknologien udnytter energikilden, og dermed om den kan forbedres. Energifaktoren afspejler dog ikke umiddelbart de miljømæssige effekter.

Fossil energifaktor

Fossil energifaktor

Et skridt på vejen til at inddrage de miljømæssige effekter, kan være en fossil energifaktor. Ideen med den fossile energifaktor er den, at kun de fossile energikilder bidrager til forstærkning af drivhuseffekten med CO₂-emissioner, samt at disse energikilder ofte også bidrager til forureningen med SO₂, NO_x, samt kviksølv mm. Den fossile energifaktor angiver således forholdet mellem hhv. energiproduktion eller -besparelse (regnet i kWh el, varme mm.) og forbruget af fossil energi i hele livsforløbet.

$$\text{Fossil energifaktor} = \frac{\text{energiproduktion i driftfasen}}{\text{fossilt brændselforbrug i hele livsforløbet}}$$

Fossil brændselsudnyttelse

Den fossile energifaktor fortæller ikke noget om teknologiens energieffektivitet som sådan, men om den *fossile brændselsudnyttelse*. Med et givet input af fossile brændsler siger faktoren os, hvor meget sekundær energi vi netto kan forvente af at anvende den pågældende teknologi. Inddirekte siger den fossile energifaktor også noget om graden af fortrængning af fossile brændsler.

Miljømæssig vurdering

Miljømæssig vurdering

Der foretages en miljømæssig vurdering af det samlede livsforløb for energiteknologien. Dvs. de samlede emissioner af de vigtigste stoffer opgøres. Den miljømæssige vurdering bør om muligt indeholde en bred vurdering af alle de forskellige miljøeffekter, der optræder i livsforløbsanalysen. Dvs. bl.a. påvirkning af drivhuseffekten, forsuringseffekt, effekt på ozonlaget, evt. mistanke om kræftfremkaldende virkning (arbejdsmiljø, luftmiljø mm.), etc.

Renere teknologi

Forslag om renere teknologi

Analysen bør også indeholde en vurdering af, hvorledes den pågældende energiteknologi kan gøres renere, ud fra et miljømæssigt aspekt. Det kan være forslag om et mere miljørigtigt materialevalg, forslag til ændrede produktionsmetoder, forbedret energieffektivitet, evt. ændring i anvendelsesmåden hvormed miljøbelastningen mindskes, forslag til hvordan genbrug kan forberedes, etc.

2.2.5 Checkliste

Indholdet af en livsforløbsanalyse kan kort beskrives ved denne checkliste som bruges til LFA'erne i rapporten:

Fremstilling

- Materialestrømme
- Energiforhold
- Transport
- Emissioner og miljøeffekter
- Arbejdsmiljø

Drift

- Energi- og ressourceforbrug
- Transport
- Emissioner og miljøeffekter
- Arbejdsmiljø
- Levetid

Afvikling

- Energi- og ressourceforbrug
- Transport
- Genanvendelighed
- Emissioner og miljøeffekter
- Arbejdsmiljø

Samlet analyse

- Energifaktor
- Fossil energifaktor
- Miljømæssig vurdering
- Renere teknologi

2.3 Helhedsbetragtning af energiteknologier

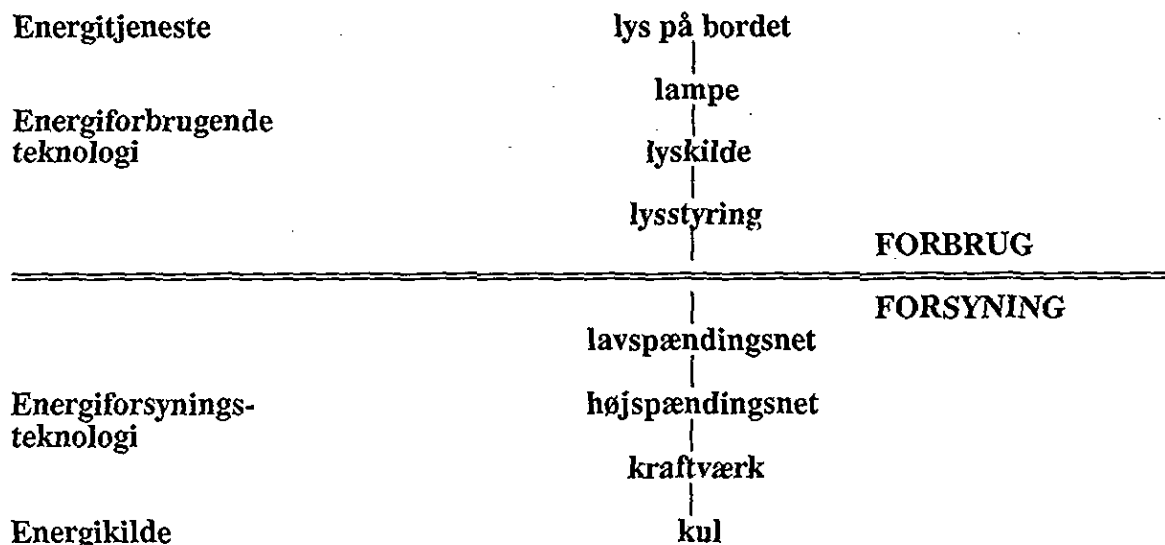
Det er imidlertid ikke tilstrækkeligt at lave livsforløbsbetragtninger for den enkelte energiteknologi. Energiteknologierne må også vurderes i den sammenhæng de indgår i. Til dette formål er energikæder velegnede.

Helhedsbetragtning

Energikæder

En energikæde er den række af teknologier, der skal til for at dække en given energitjeneste - f.eks. lys på bordet (se figur 3). Dette er en måde at betragte, hvordan forsynings- og forbrugssiden er koblet sammen. Denne metode er velegnet, når man skal give forslag til, hvordan en given energitjeneste udfra en helhedsbetragtning kan frembringes med en renere teknologi. Det er nødvendigt at optimere både de enkelte led og hele kæden. I denne rapport gennemgår vi ikke nødvendigvis alle led. Figur 2.3 viser et eksempel på en energikæde for energitjenesten "lys på bordet".

I et sammensat energisystem vil energikæder kun være entydige et stykke af vejen. Forsyningssiden vil som regel være sammensat af flere forsyningsteknologier. En enkelt energikæde vil derfor ikke være udtryk for en reel situation, men kan bruges til at vurdere enkelte kombinationer i forhold til hinanden. Det er hensigtsmæssigt at dele energikæden op i en forsyningsdel og en forbrugsdel som vist på figuren. Derved kan man sammenligne hhv. forsyningskombinationer og forbrugskombinationer indbyrdes.



Figur 2.3

Eksempel på energikæde for energitjenesten "lys på bordet".

Mulighed for prioritering

LFA og energikæder

For hvert enkelt led i energikæden kan der laves en livsforløbsanalyse. Der opstår derved et helt "træ" af energiforbrug og miljøbelastninger. Ved en samlet vurdering, kan man således vurdere, om den anviste måde at opfylde energitjenesten på, er renere end andre. Hvis der gennemføres kombinerede LFA- og energikædeanalyser for alle tænkelige kombinationer til opfyldelse af givne energitjenester, kan man udfra en miljømæssig betragtning eller en målsætning om renere teknologi opstille en prioriteret liste over renere måder at frembringe energitjenester på. I dette

projekt når vi dog ikke så langt som at kunne opstille en sådan liste, endsige gennemføre livsforløbsanalyser for en sammenhængende kæde fra energitjeneste til energikilde.

2.4 Referencesystem

Energisystem væsentligt

Ved vurdering af enkeltteknologier udfra den opnåede energitjenesteydelse er det altså afgørende, i hvilken energikæde (energisystem) den enkelte teknologi befinder sig i. En lavenergipære (kompakt lysstofrør), der erstatter en almindelig glødelampe, vil f.eks. være en renere teknologi m.h.t. kviksølv, CO_2 mm. i det nuværende system med kulkræftværker, mens glødelampen kan være en renere teknologi i et system hvor elforsyningen sker med f.eks. vindmøller og solceller, idet glødelampen ikke indeholder kviksølv og vind- og solkraft ikke giver CO_2 -emission.

Energisystemets udvikling

Scenarier

Set i et længere tidsperspektiv, er det således nødvendigt at gøre sig tanker om, hvorledes energisystemet udvikler sig for at kunne vurdere renere enkeltteknologier. Til dette formål kan det være nyttigt og nødvendigt at opstille scenarier, der beskriver forskellige valg af energiteknologier på længere sigt. For at opstille disse scenarier bør man opstille energikæder og livsforløbsbetragtninger i hvert enkelt led, for alle energitjenester og i udvalgte scenarieår. Dette vil resultere i "en skov af træer", og kan vise sig at være uigennemskuelig. Opgaven med at opstille scenarier på denne måde er i sig selv så omfattende, at det bør være et projekt for sig selv. Derfor vil vi i dette projekt afgrænse os fra egentlig opstilling af scenarier.

3 referencesituationer

Referencesituationer

For at livsforløbsanalyserne skal have nogen mening overhovedet ved sammenligning af enkelte energikæder med hinanden, kan det være hensigtsmæssigt at have nogle udvalgte referencesituationer til brug ved beregning af de samlede miljøeffekter i en livsforløbsanalyse. Man kunne forestille sig tre relevante referencesituationer : 1) Nuværende situation, hvor miljøeffekter fra el- og varmeproduktion til fremstilling, drift og skrotning af teknologien beregnes som et gennemsnit af de i dag anvendte energiforsyningsteknologier, 2) En situation, hvor nye og mere miljøvenlige energiforsyningsteknologier (f.eks. naturgasfyrede kombianlæg, øget brug af vedvarende energi o.a.) er taget i brug, samt 3) En situation, hvor vedvarende energi og fornybare energikilder udgør hovedparten af energiforsyningen.

Marginal energiforsyning

I dette arbejde

På grund af dette projekts begrænsede omfang, vil vi her anvende en stærkt forenklet referencesituation for såvel fremstilling og drift af energiteknologierne. Vi antager, at det *marginale energiforsyningsystem* er et system, hvor el-energi leveres fra et nyt kulstøvsfyret kraftværk med røgrensning for partikler og SO_2 , varmeenergi (såvel opvarmning som procesvarme) leveres af nye individuelle oliekedler, og olie bruges som drivmiddel i transportsektoren. Denne antagelse er ikke helt ved siden af, når det gælder den marginale forsyningssituation for el og varme i Danmark. Når det gælder energiindholdet i de materialer energiteknologierne består af, drejer det sig ofte om at beskrive energiforsyningssystemerne i andre lande. Den primære energikilde varierer meget fra land til land (uran, olie, kul, vandkraft), men den globalt marginale energikilde i dag er stadig kul, da dette er den

fossile energikilde med langt de største kendte forekomster (med det nuværende globale forbrug rækker de kendte kulforekomster i 5-600 år). Noget tilsvarende kan siges om olie til opvarmning, omend de kendte reserver ikke rækker helt så længe som kulreserverne. Så selvom den anvendte referencesituation er stærkt forenklet, er den ikke uinteressant at bruge.

3. Energiforbrug

Energitjeneste

Som nævnt i kapitel 2 må enhver analyse af et energisystem tage udgangspunkt i energitjenesten. Som regel er der mange forskellige måder at fremskaffe en energitjeneste på, og disse måder kan være mere eller mindre energieffektive. Alle de energikrævende teknologier vi vælger til opfyldelse af energitjenestebehov, udgør tilsammen forbrugssiden i vores energisystem, og teknologierne kalder vi her forbrugsteknologier.

Miljøbelastningen afhænger af forsyningssystemet

En renere forbrugsteknologi må være en teknologi, som yder en given energitjeneste med en mindre total miljøbelastning. Miljøbelastningerne ved en forbrugsteknologi, afhænger af forsyningssystemet. Med det forsyningssystem vi har idag, stammer miljøbelastningen fra en forbrugsteknologi først og fremmest fra dens energiforbrug i driftfasen. Reduceres dette energiforbrug for en teknologi, vil samtlige emissioner fra forsyningssystemet blive reduceret stort set proportionalt med energibesparelsen, og der er altså tale om en renere teknologi. Når man vurderer om en forbrugsteknologi er renere, må man altså inddrage det forsyningssystem, den skal forsynes fra, jvf. afsnit 2.4. Hvis vi antager, at driftfasen er den største miljøbelastning i det forsyningssystem, vi har idag, så må en renere teknologistrategi på forbrugssiden sigte på at nedbringe det direkte energiforbrug, der er forbundet med at skaffe en given energitjeneste, enten ved at vælge en anden og mere effektiv teknologi, eller ved at effektivisere den eksisterende teknologi.

Udskiftning

Generelt vil anvendelsen af mere effektive forbrugsteknologier være omfattet af renere teknologibegrebet. Det afhænger imidlertid af, hvordan udskiftningen til de mere effektive teknologier forløber, idet der er et energi- og ressourceforbrug forbundet med fremstillingen af disse teknologier. Ved en vurdering af om den enkelte teknologi skal udskiftes, må der foretages en afvejning af det energiforbrug, der er forbundet med at bibeholde teknologien til den er udtjent, i forhold til det energi- og ressourceforbrug, der er forbundet med fremstilling og drift af den nye teknologi. På samme måde bør miljøbelastningen ved skrotning vurderes. Eksempelvis vil en forceret udskiftning af landets køleskabe give store energibesparelser, men kan også give et stort udslip af CFC, afhængig af om der foretages indsamling og destruktion af de gamle skabe. Dertil kommer den større mængde CFC, der vil være brugt til isolering og kølemiddel i de nye skabe.

I dette kapitel undersøges det, hvordan forbrugsteknologier, opdelt på sektorerne el, varme, transport og proces, kan effektiviseres. Det bemærkes, hvis der er miljøbelastninger i forbindelse med de enkelte teknologier, som ikke stammer fra energiforbruget.

3.1 Struktur idag

Danmarks nettoenergiforbrug var i 1988 ca. 570 PJ. Fordelingen af dette forbrug på forskellige anvendelser fremgår af figur 3.1.

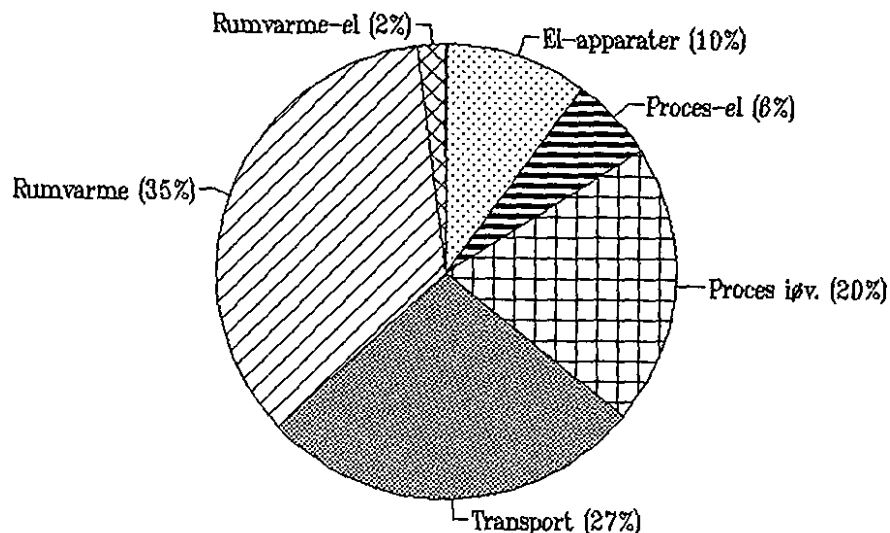


Fig. 3.1
Fordelingen af nettoenergiforbruget. (Data fra ref. 3.1)

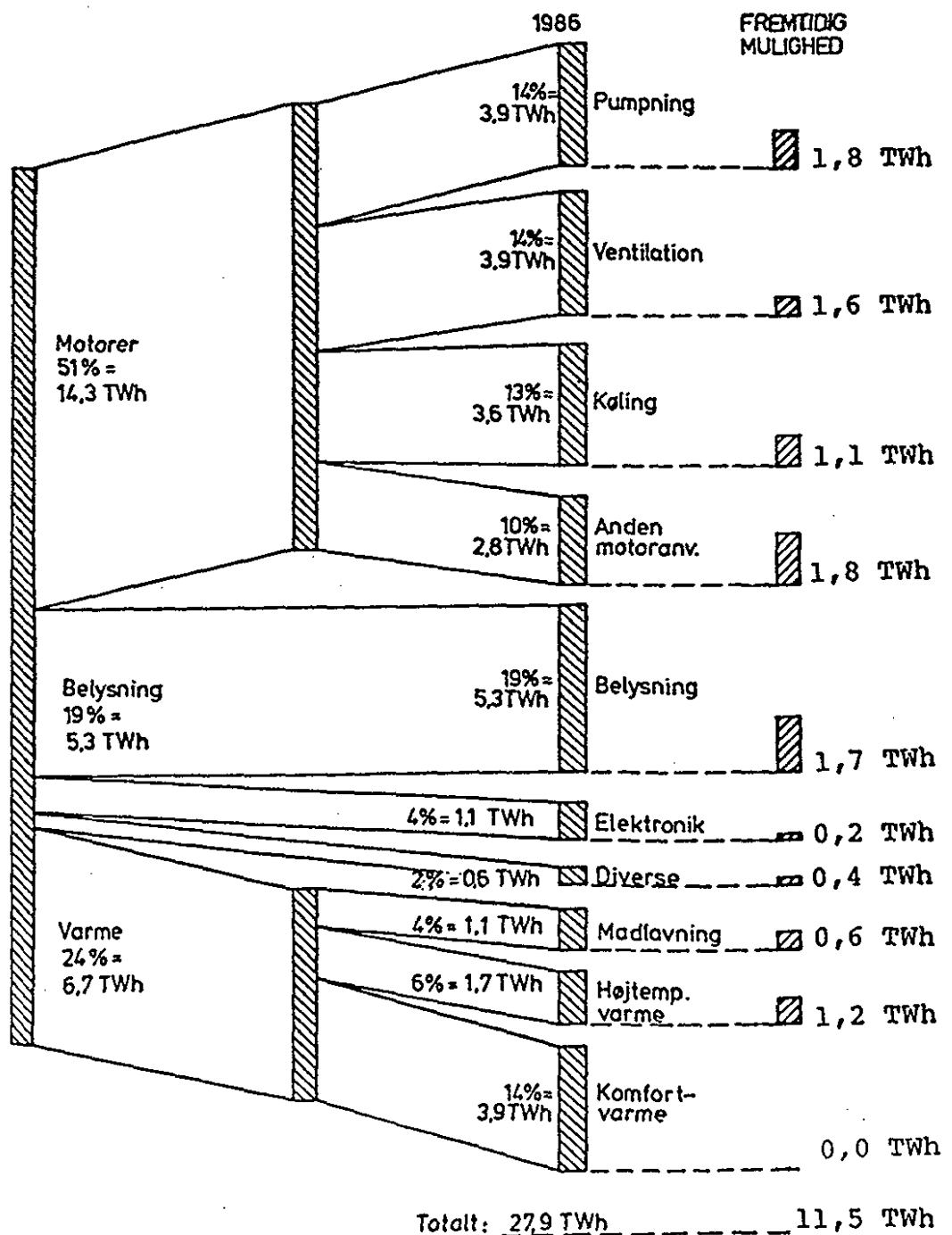
3.2 Effektiviseringsmuligheder

I dette afsnit undersøges mulighederne for effektivisering indenfor de forskellige anvendelsesformål. Det bliver påpeget, hvis der er miljøkonsekvenser forbundet med effektiviseringerne.

3.2.1 Elbesparelser

I dette afsnit behandles mulighederne for tekniske elbesparelser, dvs. mulighederne for at effektivisere konverteringen af el til energitjeneste.

I figur 3.2 er vist strukturen i det *totale* elforbrug i 1986, dvs. at elanvendelse inden for transport, opvarmning og proces er inkluderet. Desuden er der i figuren (højre kolonne) illustreret, hvor meget elforbruget kan forventes at blive reduceret til, såfremt energitjenesteniveauet bevares på 1986-niveau, og der sker en målrettet forskningsindsats inden for udvikling af mindre energikrævende teknologier.



Figuren er baseret på ref. 3.6, dog er højre kolonne fra ref. 3.2.

Fig. 3.2
Strukturen i det totale elforbrug i 1986 samt fremtidige muligheder for effektivitetsforbedringer

Med den fremtidige mulighed, angivet i figur 3.2, menes den teknologi, som med en kraftig forskningsindsats kan bringes på markedet i løbet af 10 - 15 år. Det fremgår af figur 3.2, at det på længere sigt vil være muligt at reducere elforbruget til 40% af det nuværende, forudsat at energitjenesteniveauet ikke stiger. Se iøvrigt ref. 3.2 og 3.3.

I det følgende gennemgås nogle af mulighederne for effektivisering af de forskellige slutanvendelsesteknologier.

Pumpning

Anvendelsen af pumpning sker bl.a. i vaskemaskiner, cirkulationspumper, vandværkspumper osv.

Effektivisering

Effektiviseringsmuligheder for pumper kan være :

- bedre dimensionering af pumper og motorer
- styring og hastighedsregulering
- systemoptimering

Dimensionering

Det gælder for pumper og for de motorer, der driver dem, at effektiviteten kun er tilfredsstillende ved maximal ydelse. De pumper, der kører idag, er generelt overdimensionerede, og der er et stort besparelspotentiale i en mere præcis beregning af pumpebehovet i de enkelte tilfælde.

Regulering

Der findes forskellige former for hastighedsregulering af motorerne, der kan tilpasse pumpeeffekten til det aktuelle behov. Idag reguleres ofte ved drøvling, enten med en ventil eller med en fast indsnævring af røret, hvorved en del pumpeeffekt er spildt.

Besparelser

Reduktion af pumpebehovet kan ske ved :

- forøgelse af rørdiametre
- brug af glat vand

En generel større diameter i rørene vil nedsætte tryktabet, og dermed pumpebehovet.

Glat vand

Glat vand er vand tilsat et sæbelignende additiv, som nedsætter friktionen i rørene betydeligt. Det kan kun benyttes i lukkede anlæg som f.eks. fjernvarmeanlæg, hvor besparelsen er op til 80% af pumpeenergien. Additivet er en tensid. Tensider er en gruppe af stoffer, som nedsætter vands overfladespænding. De fleste tensider regnes for at være let nedbrydelige. Nogle af dem er imidlertid giftige, og man bør have klarhed over, hvilke egenskaber det stof, man bruger, har (ref. 3.19).

Reduktion af vandforbrug

Renere teknologi i forbindelse med vandværkspumpning må omfatte en reduktion af vandforbruget. Der er andre og væsentlige argumenter for at reducere vandforbruget, men det vil altså bl.a. resultere i et reduceret pumpebehov.

Det bemærkes, at de nævnte besparelsemuligheder generelt ikke kræver flere ressourcer, snarere tværtimod. Der er tale om bedre dimensionering, hvilket betyder mindre pumper og motorer, samt bedre styring af eksisterende pumper og motorer.

Ventilation

Ventilation benyttes generelt til at opretholde et behageligt indeklima, dvs. til at fjerne uønskede gasser som CO₂ fra menneskelig

respiration, gasser fra bygningsmaterialer samt skadelige gasser fra en eventuel produktion.

Besparelspotentialerne for ventiation vil være inden for :

- nedsættelse af tryktabet i ventilationskanalerne
- benytte punktudsugning
- undgå de gasser som kræver tvungen ventilation

Reduktion af tryktab

Generelt kan effektiviteten forbedres ved at nedsætte tryktab i luftkanaler ved en mere hensigtsmæssig udformning, dvs. *blødere bøjninger og større diametre* i kanaler. Således vil en 25% forøgelse af diameteren i kanalen mere end halvere tryktabet og dermed den krævede pumpeeffekt.

Punktudsugning

I industrien kan man i højere grad benytte punktudsugning til at fjerne skadelige gasser, hvor man idag ofte fortynder disse gasser ved indblæsning af luft, hvilket kræver mere elektricitet.

Den del af ventilationen, som går til at erstatte CO₂ med O₂ til respiration, bliver svær at undvære. Den del, som bruges til at fjerne skadelige gasser, kan undværes, hvis man benytter byggematerialer, som ikke har nogen farlig afgasning samt ved at tilrettelægge produktionen sådan, at farlige gasser ikke opstår.

Køling

Ved køling vil vi her forstå *konservering af fødevarer* i køleskabe, fryserer samt køleanlæg i handel, industri og husholdning.

Køling af apparater og maskiner (f.eks. computere) forgår oftest vha. pumpning eller ventilation, hvorfor det falder ind under disse afsnit.

Besparelsmuligheder inden for køleområdet vil være :

- effektivisering af kølesystem
- forbedring af kompressorer
- reduktion af kølebehovet

Køleskabe

Husholdningskøleskabe kan forbedres væsentligt, som det også er vist ved tidligere projekter på Fysisk Laboratorium III, DtH. Mulighederne for effektivisering ligger i forbedret dimensionering, mere effektive kompressorer, forøget varmekapaciteter i varmevekslerne samt øget isolering.

Fysisk placering

Besparelsmuligheder, som ikke har med selve køleskabet at gøre, er sænkning af temperaturen i det rum, hvor køleskabet eller fryseren står, som det ofte vil være tilfældet, hvis køleskab eller fryser placeres i kælder eller udhus.

På længere sigt kan man forstille sig at køleskabe i højere grad bliver en del af bygningerne, og måske placeres i en ydervæg, hvorved kondensatoren kan placeres udvendigt, og dermed forbedre varmeafgivelsen. Samtidig vil varmetransmissionen fra kølemøblene blive reduceret. Begge dele med en bedre effektivitet til følge.

Større køleanlæg

Kommercielle og industrielle kølemøbler kan effektiviseres ved i højere grad at anvende lukkede kølemøbler, og ved at anvende natlåg på de åbne kølemøbler. Desuden kan der benyttes fælles kølesystem for alle køle- og frysemøbler, hvilket giver bedre drifts-

betingelser for anlæggene med lavere energiforbrug til følge.

Som det fremgår af figur 3.2 er besparelspotentialt temmelig stort for køling. Effektivisering af køleskabe som renere teknologi er imidlertid ikke helt uproblematisk, idet øget isolering i øjeblikket giver et øget CFC-indhold i skabene. Dette er yderligere beskrevet i livsforløbsanalysen for lavenergikøleskabe (afs. 6.3).

Øvrige motorer

Øvrige motorer er elmotorer, der anvendes til f.eks. trykluftkompressorer, husholdningsapparater, transportbånd og elevatorer, værktøjsmaskiner samt transport.

Generelt ligger besparelsmulighederne i bedre styring og dimensionering af systemer og apparater, samt energieffektivt design af motorer. Indenfor transport kan vægten af transportmidlerne, f.eks. S-tog, nedsættes, ligesom luftmodstanden kan reduceres.

Belysning

Behovet for lys findes i alle sektorer. Der er behov for sikkerhedsbelysning, arbejdsbelysning og hyggebelysning.

Besparelsmulighederne inden for belysning vil være :

- anvendelse af lavenergipærer
- udnyttelse af dagslyset
- anvendelse af holografiske vinduer

Lavenergipærer

Fremkomsten af nye elbesparende pærer har givet et stort potentiale for elbesparelser. De har et forbrug på ca. 1/5 af tilsvarende glødepærer, og en 4-10 gange så lang levetid. Der er imidlertid flere muligheder for at effektivisere belysningen. Lampeskærmens udformning er afgørende for, hvor stor en del af det udsendte lys der nyttiggøres, og dermed hvor kraftig en pære den behøver. Bygninger kan udformes så dagslyset udnyttes i langt højere grad. Holografiske vinduer kan også give en bedre udnyttelse af dagslyset. Holografiske vinduer fungerer vha. et "gitter", som er i stand til at reflektere lyset op mod den del af loftet, som ligger langt væk fra vinduet, hvorved en større del af rummet oplyses af dagslyset.

Kviksølv

Øget brug af lavenergipærer og lysstofrør bringer, i forhold til glødepærer, nogle betænkelige stoffer i omløb, bl.a. kviksølv. Dette vil blive behandlet i afsnit 6.2 i en livsforløbsanalyse for en lavenergipære.

Elektronik

Omfatter kommunikation, databehandling, radio og tv, og styringselektronik.

Udviklingen inden for databehandling og kommunikation medfører store forbedringer i effektiviteten pga. behovet for at reducere varmeudviklingen fra elektroniske komponenter. Transportable PC'ere er udviklet til et væsentligt mindre forbrug end de stationære. Her er teknologien altså kendt.

Elektronik udgør en lille del af det samlede elforbrug, men kan forventes at få en større rolle, efterhånden som den offentlige service-sektor, skoler samt det private erhvervsliv i højere grad anvender edb og datakommunikation.

Varmeformål, lavtemperatur

Anvendelsen af el til lavtemperatur varmeformål finder næsten udelukkende sted, hvor el bruges til rumvarme og varmt brugsvand.

Rumopvarmning

Besparelser kan opnås først og fremmest ved isolering. Der er imidlertid tale om et område, hvor det ikke er umiddelbart indlysende at bruge el. El er energi af høj "kvalitet", og der er store tab forbundet med at producere den. At bruge den til at skaffe rumvarme og varmt vand resulterer i et unødvendigt højt primær energiforbrug. En renere teknologi-strategi må sigte på en substitution af el med f.eks. fjernvarme fra en kraftvarmeproduktion. Rumvarmeforbruget bliver yderligere behandlet i afsnittet om varmebesparelser.

Vask/opvask

I vaske- og opvaskemaskiner kan elforbruget til opvarmning af vand substitueres med et direkte varmtvandsindtag. Elforbruget kan reduceres ved reduktion af vandforbrug samt ved nedsættelse af temperaturniveau. På længere sigt kan enzymer og ultralyd give mulighed for kold vask og opvask. Det bør undersøges om de enzymer, der bruges, vil belaste miljøet på nogen måde.

Forbruget af varmt brugsvand kan reduceres gennem almindelige vandbesparende foranstaltninger, f.eks. vandbesparende filtre på vandhaner og brusere med et mindre flow.

Varmeformål, højtemperatur

Omfatter dels varmeformål inden for industrien, først og fremmest højtemperaturovne, samt madlavning i boligsektoren.

Højtemperaturovne

Ved højtemperaturovne består mulighederne for energibesparelser først og fremmest i bedre isolering samt genvinding af varme og udnyttelse af den til forvarmning af materialerne, f.eks. stål.

Madlavning

Madlavning kan effektiviseres ved at bygge varmelegemer ind i kedler og gryder og gøre disse dobbeltvæggede. Trykkogning nedsætter ligeledes elforbruget, idet tilberedningstiden nedsættes. Anvendelse af mikrobølgeovne kan medføre reduktion af elforbruget. Substitution til naturgaskomfurer medfører et lavere primærenergiforbrug, men kan give gener med NO_x-emission i køkkenet. På længere sigt kan induktionsovne og -kogeplader gøre sig gældende.

3.2.2 Varmebesparelser

I modsætning til for elforbrugende teknologier, er der en lov for hvor meget energi (nye) bygninger må bruge (bygningsreglementet). Varmeforbruget har således været genstand for en større opmærksomhed end elforbruget. Ved bygningers varmeforbrug forstås rumvarme og varmt brugsvand. Nettovarmebehovet har været faldende siden starten af 70'erne, fra 1973 til 1987 er det faldet med over 35% regnet pr. m². Det betyder dog ikke, at mulighederne for besparelser er udtømte. 3 faktorer er vigtige i forbindelse med bygningers varmeforbrug:

- isoleringstandarden
- ventilationen
- udnyttelsen af solindfald

0-energihuse

Det er vigtigt at bemærke, at der er fremstillet 0-energihuse, dvs. huse som ikke har noget direkte energiforbrug til rumvarme. Der er altså ikke nogen teoretisk grænse for, hvor effektivt et hus kan opfylde vores behov for rumvarme.

Efterisolering og isoleringskrav til nybyggeri har været det væsentligste indsatsområde. Der forskes imidlertid stadig i nye isoleringsmaterialer, og der er store muligheder for at nedsætte varmekonsumet yderligere. De seneste krav til isoleringen af nybyggeri stammer fra 1982, og de kan strammes op uden væsentligt at øge omkostningerne ved byggeriet.

Miljøeffekter af isolering

Der bør forskes i miljøeffekten af de isoleringsmaterialer, der anvendes idag. Mineraluld er mistænkt for at være kræftfremkaldende i forbindelse med fremstilling, noget hulmursisolering opskummes med CFC, og i nye vinduer anvendes isolerende gasser imellem glassene, hvis miljøeffekt ikke kendes. Man bør også være opmærksom på det energiforbrug, der er forbundet med fremstillingen. Den energioptimale isoleringstykkelse under hensyntagen til energiforbrug ved fremstilling af mineraluld er 1/2 - 1m. (Ref. 3.6)

Ventilation

Ventilation foregår naturligt i de fleste huse. I forbindelse med bedre og bedre isolering kan man dog komme ud for, at husene tætnes så meget, at det bliver nødvendigt med mekanisk ventilation. Mekanisk ventilation er elforbrugende, men giver mulighed for varmegenvinding, hvorved varmetabet mindskes. Det giver ligeledes mulighed for at styre luftudskiftningen, som bør være omkring 0,5 gange i timen.

Passiv solvarme

Udnyttelse af solindfaldet i bygninger kaldes passiv solvarme, og kan ske ved brug af store glasarealer på sydvendte facader. Det er en fordel at have tunge bygningsmaterialer, idet varmen kan akkumuleres i løbet af dagen og afgives om natten. Passiv solvarme bruges ikke blot som energibesparende foranstaltning, men også til at give den eksisterende boligmasse en højere kvalitet. Passiv solvarme bliver yderligere behandlet i afsnit 6.5.

3.2.3 Besparelser på procesområdet

Procesenergi inkluderer energiforbruget til den lange række af egentlige fremstillingsprocesser, der anvendes i erhvervene såsom smeltning, tørring, destillation og brænding. Derimod medregnes normalt ikke komfortenergiforbruget, dvs. energiforbruget til belysning, ventilation og rumopvarmning. I dette afsnit udelades desuden den del af procesenergiforbruget, der er baseret på el, idet dette er behandlet i afsnit 3.2.1 under elbesparelser.

Hovedparten af procesenergiforbruget anvendes i industrien (ca. 75 %), mens resten anvendes i de primære erhverv, dvs. hovedsagelig landbrug, gartneri og fiskeri. Processernes mangfoldighed gør det umuligt i dette afsnit bare tilnærmelsesvis at beskrive hele området. Vi vil blot nævne nogle generelle tendenser.

Store besparelsemuligheder

Det er rimeligt at antage, at der generelt findes besparelsemuligheder i samme størrelsesorden for de varmekrævende industriprocesser, som der er fundet for elforbruget i industrien (ref. 3.20). Her er fundet mulighed for ca. 40 % besparelser i elforbruget, som alle er samfundsøkonomisk rentable.

Eksempler på besparelser

Desuden kan man nævne eksempler vedrørende destillation, hvor der er påvist besparelspotentialer på omkring 75 % (ref. 3.21), ved indførelse af omvendt osmose. Vedrørende tørring, som udgør en stor del af industriens procesforbrug, findes eksempler på brug af varmepumper (ref. 3.22) og modtrykstørring (ref. 3.23), som kan medføre op til 80 % besparelser.

Endelig kan forlængede levetider af industriprodukter reducere behovet og derved energiforbruget til processer.

3.2.4 Besparelser inden for transportområdet

Nettoenergiforbruget til transport var i 1988 155 PJ (inkl. udenrigs luftfart), eller knap 20% af det samlede nettoenergiforbrug. I figur 3.3 er vist, hvordan energiforbruget fordeler sig inden for transportsektoren.

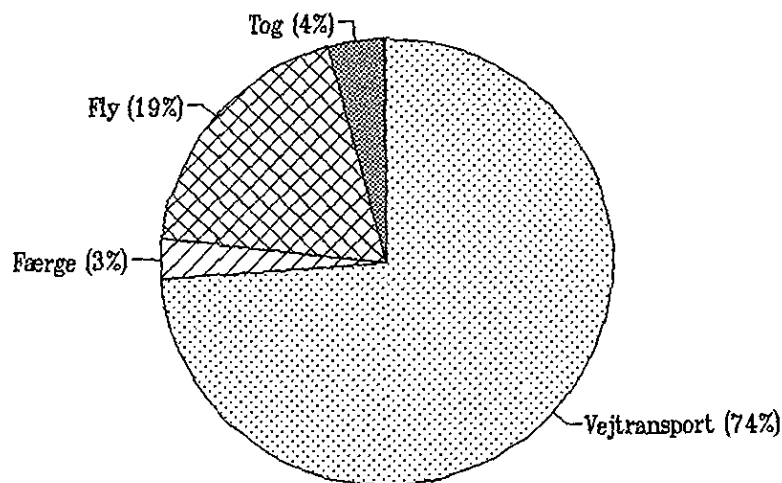


Fig. 3.3
Fordelingen af transportsektorens energiforbrug (ref. 3.1).

Afbrænding af olieprodukter

Forureningen fra transportsektoren kommer først og fremmest fra afbrænding af olieprodukter i forbrændingsmotorer, og består således hovedsagligt af gasser og partikler. Der emitteres NO_x , CO , CO_2 , kulbrinter, SO_2 , PAH samt partikler. Dertil kommer støj og forstyrrelse af landskaber og lokalmiljøer, ligesom der kan være en miljøbelastning forbundet med produktion og destruktion af transportteknologierne. Personale ansat ved anlæg og vedligehold af veje mm. er endvidere belastet af et dårligt arbejdsmiljø.

Lokal & global forurening

Forureningen fra transportsektoren adskiller sig fra den øvrige forurening fra energiområdet ved i høj grad at være såvel lokal som global.

Forureningen hidrørende fra energiforbruget kan reduceres på fire forskellige måder, når man ser bort fra reduktion af energitjenesteniveauet:

- Ved at reducere transportarbejdet (fysisk planlægning). Dette er ikke det samme som at reducere energitjenesteniveauet

- Ved at ændre strukturen i transportsektoren (dvs. den måde transportarbejdet fordeles sig mellem forskellige transportmidler - bus, bil, tog, fly osv.) mod større brug af mindre energitunge transportmidler samt øge kapacitetsudnyttelsen i disse
- Ved at introducere nye og mindre forurenende drivmidler
- Ved at effektivisere de benyttede teknologier, dels transportmidlerne men også trafikstyringssystemerne, og trafik anlæggene.

Reduktion af transportarbejdet, kan ske gennem fysisk planlægning, der imidlertid ligger uden for dette projekt. De øvrige punkter vil blive behandlet.

Struktur i persontransport

Den nuværende struktur af transportarbejdets fordeling for persontransporten fremgår af figur 3.4. Specifikt primær energiforbrug for nogle persontransportmidler i 1986:

Bil	1,45 MJ/pers.km.
Bus	0,68 MJ/pers.km.
Dieseltog	1,29 MJ/pers.km.
El-tog	1,06 MJ/pers.km.

Tallene er opgjort med den faktiske belægning, og siger således dels noget om transportmidlernes energieffektivitet, og dels noget om belægningen på dem. Der er regnet med en elvirkningsgrad på 0.33 for el-tog (ref. 3.14).

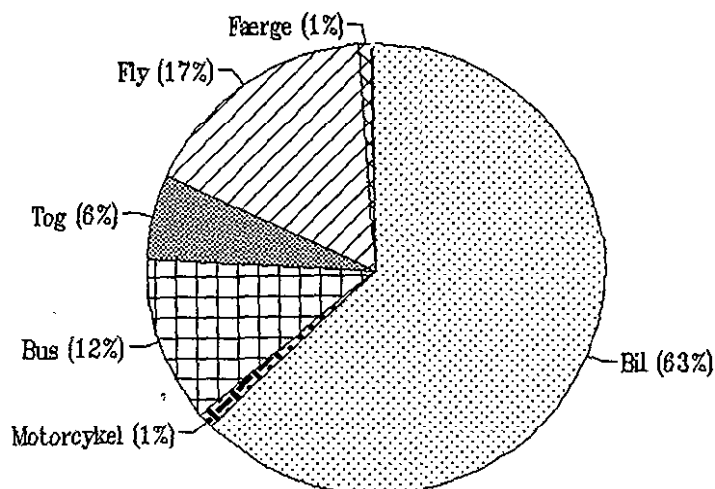


Fig. 3.4

Transportarbejdets struktur for persontransporten 1986 (ref. 3.15).

Fra bil til bus og tog

Det ses, at der kan være besparelser at hente ved at flytte transportarbejde fra bil til bus og tog, blot skal man være opmærksom på, at kapaciteten i den kollektive trafik visse steder er fuldt udnyttet i myldretiden. Derudover kan man søge at forøge

belægningen i persontransporten, f.eks. ved at fremme samkørsel til og fra arbejde, og dermed reducere det specifikke energiforbrug for personbiltransporten.

Struktur i godstransport

Den nuværende struktur af transportarbejdets fordeling for godstransporten fremgår af figur 3.5. Det specifikke energiforbrug for godstransport for forskellige transportmidler var i 1986:

Lastbil	4,11 MJ/ton.km.
Dieseltog	0,90 MJ/ton.km.
Skib	1,82 MJ/ton.km.

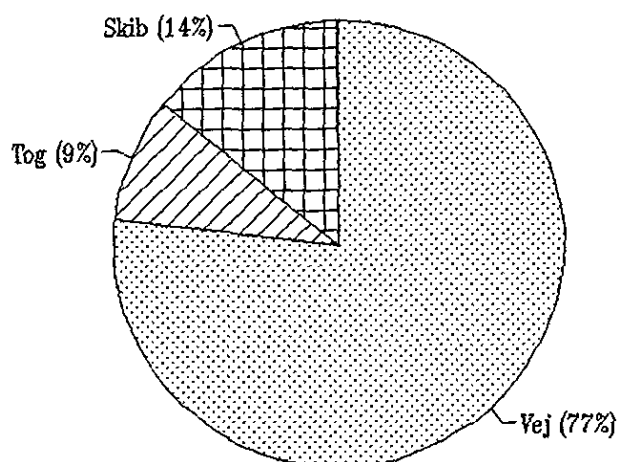


Fig. 3.5

Transportarbejdets struktur for godstransporten (ref. 3.15)

Fra lastbil til tog

Energiforbruget til godstransport kan i nogen grad reduceres ved at flytte transportarbejde fra lastbil til tog. Potentialet er dog begrænset, idet godstog egner sig bedst til transport over større afstande. Gods, der fragtes med tog, skal omlades til/fra lastbil i begge ender, og i 1986 blev 84% af det gods, der blev transporteret med lastbil, transporteret under 100 km (ref. 3.13).

Planlægning

Den samlede kapacitetsudnyttelse på lastbiler var i 1986 43%. Der bør derfor forsøges at udvikle systemer til at øge belægningen, som gør det muligt for vognmænd og firmaer at øge samarbejdet og planlægningen af transporten. En tilpasset emballage samt optimering af vognparkens sammensætning vil yderligere kunne øge udnyttelsen (ref. 3.13).

Nye drivmidler

De drivmidler der kan komme på tale i fremtiden er: alkohol, brint, planteolier f.eks. rapsolie, methan (naturgas, biogas), samt el. Fælles for dem (undt. el) er, at de kan benyttes i forbrændingsmotorer, som vi kender idag, med større eller mindre ændringer.

Biomassebrændsler

Brændsler produceret fra biomasse er en fornybar energikilde, og vil totalt set ikke give nogen CO₂-emission. Det er imidlertid arealkrævende, og dyrkning og proces kræver energi - for visse afgrøder mere end brændværdien i det producerede brændsel, hvis ikke processen effektiviseres betydeligt.

Naturgas

Naturgas kan benyttes som brændsel i benzinmotorer. Der er i udlandet store erfaringer med komprimeret naturgas i person- og varebiler. Dansk Naturgas har konverteret og testet forskellige biler med godt resultat. Emissionerne har generelt været lavere end for tilsvarende benzinbiler (ref. 3.17).

Sekundære energikilder

Brint og el adskiller fra de øvrige drivmidler ved at være sekundære energikilder, og forureningen fra brugen af disse afhænger således af, hvordan de produceres. Brint kan fremstilles fra fossile brændsler, men er mere interessant i renere teknologisammenhæng, når det produceres fra el ved elektrolyse ved anvendelse af el-produktion på VE-anlæg. Dette giver mulighed for at bruge vedvarende energi i transportsektoren.

Brint

Forbrændingsprodukter fra brint er vand og NO_x . Dannelsen af NO_x afhænger af, hvordan temperaturen styres, men er typisk væsentligt lavere end for en benzinmotor. Både Mercedes og BMW har lavet forsøg med kørsel på brint, og resultaterne er gode. Det væsentligste problem er lagringen. Der arbejdes først og fremmest med flydende lagring ved 20 K, og lagring i såkaldte metalhydrid, hvor brint reagerer reversibelt med et metal. Begge systemer er større, dyrere og tungere end almindelige bezintanke, men der forskes på dette område. Flyindustrien forsker ligeledes i brug af brint i flymotorer. Brint fremstillet på basis af elproducerende VE-kilder vil i høj grad være en renere teknologi (ref. 3.15).

Brint kan omsættes til el med høj effektivitet (40-60%) i brændselsceller. Virkningsgraden i en benzinmotor er til sammenligning 20-25%. Brændselsceller omsætter brint til el uden forbrænding. De brændselsceller, der kendes idag, er for store til brug i vejtransport, men brændselsceller til brug i biler er under udvikling (ref. 3.12).

Elektricitet

El kan bruges på to måder i transportsektoren, enten som ledningsbunden drift eller ved batteridrift. Begge teknologier er kendte. Den ledningsbundne drift kendes fra S-tog og har tidligere været anvendt i sporvogne. El-dreven transport på bane er energieffektivt, idet bremseenergien kan udnyttes, men det vil belaste el-nettet i spidslastperioderne, og altså kræve en større kapacitet i elnettet. El-biler har været fremme længe uden at have vundet stor udbredelse. Batteriteknologien har nok begrænset udbredelsen, idet batterierne ikke er energitætte nok. Hvis udviklingen af nye batterityper gør el-bilen aktuel, åbnes der mulighed for en væsentlig reduktion af den lokale forurening, blot må man ved udviklingen af nye batterier være opmærksom på, hvilke miljøfremmede stoffer de indeholder.

Både el-biler og et brintsystem baseret på elektrolyse vil give mulighed for større brug af VE-kilder i elsystemet, idet de kan slutes til uden for spidslastperioder, og således være med til at udjævne belastningen.

Hybridteknik

Effektivisering

Biler, tog, busser osv. kan effektiviseres ved at nedsætte vægt, samt rulle og luftmodstand. Hybridteknik, som indvinder bremseenergi, er udviklet til busser. Teknikken vurderes at kunne reducere forbruget ved bykørsel med ca 30%. Den har imidlertid ikke vundet stor udbredelse, bla. pga. driftsproblemer. Der er behov for yderligere udvikling.

Lave virkningsgrader

På længere sigt bør opmærksomheden rettes mod motorenes virkningsgrad. En typisk benzinmotor har en virkningsgrad på 20-25%. Brændsler med højere oktantal, som f.eks. alkohol, brint og methan giver mulighed for et større kompressionsforhold, og dermed bedre virkningsgrad. Keramiske materialer kan give mulighed for højere temperaturer og mindre køling, hvilket også giver en bedre effektivitet.

3.3 Samlede besparelsesmuligheder

Rumvarme

Mens der foreligger grundige undersøgelser af mulighederne for at reducere vores elforbrug, er der ikke tilsvarende præcise skøn for varme- og transportområdet. Som nævnt kan man for rumopvarmningområdet (uden opvarmning af brugsvand) sige, at energiforbruget kan reduceres til 0. Målet må derfor være en reduktion med 100%. Spørgsmålet er, hvor hurtigt det skal ske. Her må man vurdere det energi- og ressourceforbrug, der er forbundet med at nedsætte eksisterende og nye bygningers varmebehov, og sætte det i forhold til almindelig vedligehold og udskiftning af boligmassen. I ref. 3.7 er det vurderet, at energiforbruget til rumopvarmning kan reduceres med 60% over 40 år.

Trafik

Nuværende trafikprognoser forudsiger en stigning i transportarbejdet på 50 - 100% over de næste 15 - 20 år. Det vil derfor kræve en stor indsats blot at holde transportsektorens energiforbrug konstant. Ihvertfald hvis vi ønsker at bibeholde den meget individuelle struktur, vi har idag. Der er andre og bedre muligheder for at nedbringe forureningen fra transportsektoren. Det kan ske ved introduktion af alternative brændsler, først og fremmest brint og el produceret fra vedvarende energikilder, men også katalysatorer på benzinbiler vil kunne reducere forureningen.

Proces

På procesområdet vurderes det (se f.eks. ref. 3.24), at procesenergiforbruget kan nedsættes til det halve eller mindre ved både at satse på direkte at effektivisere produktionerne og ved indirekte at reducere behovet for produktion. Der er således behov for at satse mere på teknologisk udvikling af både nye og gamle produktionsprocesser, med henblik på energibesparelser.

3.4 Specielle behov for teknologisk udvikling

De forgående afsnit viser, at der er følgende behov for teknologisk udvikling:

- Nye isoleringmaterialer og kølemidler til køleskabe. Her tænkes først og fremmest på erstatning af CFC-gasser.
- Lavenergipærer uden kviksølv. Selvom lavenergipærer med den nuværende elforsyning giver en lavere emission af kviksølv, må det på længere sigt betragtes som uholdbart at have større mængder kviksølv i cirkulation. De lavenergipærer, vi ser idag må betragtes som et skridt på vejen til en effektivere belysningsteknologi. De er imidlertid langt fra

den teoretiske grænse, og der vil i lang tid fremover være behov for udvikling. Således er natriumlamper væsentligt mere effektive, men benyttes kun som vejbelysning pga. lysets gule farve.

- Nye madlavningssystemer med lavere energiforbrug.
- Nye vaskesystemer med lavere energiforbrug, vandforbrug og miljøbelastning.
- Bestræbelserne på at reducere bygningers energiforbrug ved et energirigtigt design bør udvides til ikke blot at omfatte rumvarmebehovet, men også behovet for lys, køling og vand. Det er vigtigt at få disse betragninger ind, når nye bygninger designs. Det må f.eks. overvejes, hvordan vinduer placeres i forhold til forskellige funktioner i bygningen. Man kan overveje at benytte gråt spildevand til toiletskyl og installere vandbesparende apparater.
- Undgå elanvendelse til varmeformål samt substituere el med andre energiformer som f.eks. naturgas.
- Udnytte glat vand i fjernvarmesystemer
- Udvikle mere effektive pumper, motorer og kompressorer. Eksisterende pumper og kompressorer har tendens til at have for stor kapacitet, hvilket giver ineffektiv drift og specielt mindre kompressorer bør udvikles.
- Udvikle systemer til lagring, transport og anvendelse af brint.
- Udvikle energitætte batterier til anvendelse bl.a. i el-biler
- Vi har set, at godstransport med tog er mere effektivt end på lastbil, ihvertfald over længere afstande. Det bør undersøges hvor grænsen går, og hvad der skal til at øge godstogs-transportens andel op til denne grænse.
- Der er behov for en analyse af godstransporten på vej, og udvikling af planlægningssystemer til vognmænd og firmaers godsstransport, Det kunne f.eks. være etablering af fragtbørser, samt brug af edb i planlægningen.
- Satse på strukturændringer inden for persontransporten mod øget brug af kollektiv transport.
- Satse på energibesparelser på både el-, varme-, proces- og transportområderne.

4. Energiforsyning

Energiforsyning anvender vi som samlet betegnelse for alle de elementer i energisystemet, som energien gennemløber, før den når til forbrugsstedet. Det er hensigtsmæssigt at opdele energiforsyningssiden i tre dele: energikilder, -produktion og -distribution. Rækkefølgen er ikke entydig, - der kan således være tale om energidistribution i flere omgange, før forbrugsstedet nås. F.eks. vil et delsystem bestående af et naturgasfyret kraftvarmeværk være opbygget af (forenklet): indvinding af naturgas, distribution til kraftvarmeværk, produktion af el og varme, distribution af el gennem elnet og varme via fjernvarmenet til forbrugsstedet. I den følgende beskrivelse af energiforsyningssystemet, er den nævnte tredeling dog anvendt, men behandlet i omvendt rækkefølge, jf. energikædebetraktningerne i kap 2. I dette kapitel behandles energiforsyning hovedsagelig under drift, og vi medtager kun i begrænset omfang energiforbrug og miljøbelastninger fra fremstilling og afvikling af teknologier.

4.1 Energidistribution

Distribution og konvertering

Når vi tager energidistributionsanlæg med, er det fordi der i forbindelse med distribution af energi, både råstoffer (brændsler) og energi konverteret til mere anvendelige energiformer, sekundær energi, såsom el og varme, er forbundet både energiforbrug og miljøeffekter. Vi har delt beskrivelsen op efter de mest almindelige kollektive energibærere el, gas og fjernvarme samt en gruppe af andre energibærere som f.eks. olie og benzin.

4.1.1 Eldistributionsnet

Luft- og jordkabler

Elektricitet distribueres gennem luft- og jordkabler. De væsentligste energiforbrug og miljøgener, som disse er årsag til, er følgende:

Energi og miljø

- Nettab med tilsvarende ekstra energiforbrug med de dertil forbundne miljøeffekter, afhængig af formen for elproduktion og de anvendte energikilder. I dag tabes 6-10 %, svarende til omkring 2 TWh/år af den samlede elproduktion i eldistributionsnettet (ref. 4.1). Et elproduktionssystem bestående af mange decentrale enheder vil kunne reducere tabet til omkring halvdelen som følge af en gennemsnitlig kortere afstand mellem produktion og forbrug af elektricitet (ref. 4.2).
- Energiforbrug ved fremstilling af kabler.
- Forurening som følge af PVC anvendt til isolering af såvel jordkabler og indendørs ledninger. Når kabler og ledninger kasseres, ender de ofte på affaldsforbrændingen, hvor afbrændingen af PVC'en er årsag til emission af dioxiner, tungmetaller (fra farvning) og saltsyre.
- Visuelle gener fra højspændingsmaster. En individuel subjektiv vurdering, som er umulig at kvantificere i lighed med diskussionen om visuelle gener fra vindmøller.

- Eventuelle gener fra elektromagnetiske felter forårsaget af elektriske ledninger. Den faglige viden om dette problem er stadig meget usikker.

4.1.2 Gasdistributionsnet

Stål- og plastrør

Gasdistributionsnet består i dag af dels stålrør til større ledninger samt transmissionsledninger, dels plastrør af polyethylen til de lokale distributionsnet. Polyethylen danner ved afbrænding kuldioxid og vand (dog kan der være brugt cadmium til farvning, som vil blive emitteret ved afbrænding), og er således ikke nogen særlig miljømæssig belastning (modsat PVC-rør). Miljøgenerne kan være følgende:

Energi og miljø

- Energiforbrug og tilknyttede miljøbelastninger ved udvinning og pumpning af gassen. Pumpeenergien m.v. udgør i dag for naturgasnettet 10-15 % af brændværdien af den transporterede gas, svarende til ca. 9 PJ/år i 1988.
- Gaslækager fra installationer og ledninger. Naturgas og biogas består for en stor del af methan, der medvirker til drivhuseffekten. Det er især de ældre gasledninger, der er problemer med. Der er iværksat et intensiveret program for reparation og renovering, og gastabet er nu nede på ca. 2.400.000 m³/år. Renoveringsprogrammet fortsætter, og i 1997 regner man med at være nede på mindre end 500.000 m³/år (ref. 4.3). Der foregår desuden en stadig diffusion af gas fra nedgravede gasledninger, hvilket dog i dag anses for ubetydeligt i forhold til udslippet p.g.a. lækager.
- Energiforbrug og miljøbelastninger ved fremstilling af gasrør. F.eks. er stålrørene som regel coatede med epoxymaling eller PVC.

4.1.3 Fjernvarmenet

Isolerede stålrør

Knap 40 % af nettorumvarmebehovet forsynes i dag gennem fjernvarmenet. Fjernvarmenet består af frem- og returledninger af hovedsagelig stål, som er isoleret enten med mineraluld, porebeton eller polyuretanskum (præisolerede ledninger). Yderst er de beskyttet mod tryk-skader af hhv. betonkanaler eller plastrør af polyethylen.

CFC i præisolerede rør

Den væsentligste miljøkritik af fjernvarmerør vedrører de præisolerede fjernvarmerør, som er isoleret med CFC-opskummet polyuretanskum. CFC-udslip til fri luft medvirker til både drivhuseffekten og til nedbrydning af ozonlaget. Der er i dag i de danske fjernvarmenet ophobet ca. 2.000 tons freon af typen CFC 11. (ref. 4.4) Det skal dog bemærkes, at anvendelse af CFC-gasser skal afvikles totalt inden 1999. I stedet for brug af CFC-gasser til opskumning kan der benyttes CO₂, dog med forringelse af isoleringsevnen til følge. Når fjernvarmerørene engang er udtjente, vil der være fare for CFC-udslip afhængig af, hvordan rørene bortskaffes. Der opgraves allerede i dag udtjente fjernvarmerør, og der anvendes endnu ikke metoder til genbrug eller uskadeliggørelse af CFC-gasserne fra opskumningen.

Varmetab

Anvendelsen af fjernvarmesystemer medfører et varmetab af varierende størrelse. For gamle systemer kan varmetabet være

større end 30 %, mens varmetabet for nye lavtemperaturnet kan komme ned i størrelsesordenen 10 %, i områder med stor varmetæthed (tæt bebyggelse). Ved lavt varmeforbrug i boliger (højtisolerede) vil varmetabet blive relativt større.

Desuden er der, som ved de andre distributionsnet, tilknyttet energiforbrug, miljøbelastninger og arbejdsmiljøproblemer ved fremstilling af fjernvarmerør.

4.1.4 Andre energibærere

De væsentligste af andre energibærere er diverse olieprodukter til individuelle forsyningsanlæg, erhvervsvirksomheder og transportmidler. Dertil kommer en række faste brændsler, hvoraf vi vil nævne halm og træ. Transport af ressourcen husdyrgødning er også medtaget. Endelig vil vi præsentere en mulig fremtidig energibærer, nemlig brint.

Olieprodukter

Olie

Olieprodukter anvendt i individuelle forsyningsanlæg, erhvervsvirksomheder og transportmidler udgør 40 % af det totale energiforbrug i Danmark 1988. Transporten foregår i tankbiler. Kun ved egentlige uheld (trafikuheld o.lign.) er der fare for miljøforurening. Oplagring ved forbrugsstedet foregår i indendørs eller udendørs tankanlæg, og ofte i nedgravede tanke, som det oftest gøres ved boliger. Disse tankanlæg kan lække uden at det bliver opdaget før en nedsivning til grundvandet har fundet sted. Tankanlæg ved benzinstationer indebærer ligeledes en risiko for lækager og nedsivning, samt forurening af jorden.

Endelig er der energiforbrug og forurening ved omladning af brændsler, transport med tankvogne, f.eks. giver benzindampe anledning til væsentlige emissioner af kulbrinter.

Halm og træ

Faste biobrændsler

Halm, træ og beslægtede brændsler transporteres udelukkende med land- og skovbrugsmaskiner samt lastbiler. Transporten kan give støvgener, og transportmidlernes energiforbrug giver selvfølgelig også her anledning til forurening. Der anses ikke at være andre miljøgener forbundet med distributionen af halm og træ.

Husdyrgødning

Husdyrgødning

Husdyrgødning og andre organiske affaldsstoffer til anvendelse i biogasanlæg, indebærer visse lugtgener ved transport til biogasanlægget. Derimod lugter den afgassede gylle ikke nævneværdigt, hvorfor udbringning på markerne herved bliver relativt lugtfri. Biogasanlæg bliver da også i dag bygget for at løse en del af landbrugets miljøproblemer i forbindelse med oplagring og udbringning af gylle. De tilhørende miljøproblemer med udvaskning og fordampning af kvælstofforbindelser, samt lugtgener ved udbringning på marker kan nemlig delvis løses ved anvendelse af biogasfællsanlæg.

Brint

Brint som energibærer

Brint som energibærer (eller sekundær energi) kan komme på tale i et fremtidigt energisystem. Et brintsystem har den fordel, at brint kan fremstilles ud fra en række biomasser, elproducerende vedvarende energikilder (sol-, vind- og bølgekraft) eller fossile brændsler. Brint kan desuden relativt nemt korttidslagres og konverteres til enten el og varme (brændselsceller eller kraftvar-

meteknologier baseret på forbrænding), eller transportenergi ved direkte brug i transportmidler. Brintsystemer kan således bidrage til at gøre energisystemet mere fleksibelt og robust, og på samme tid øge mulighederne for brug af vedvarende energikilder i kraft af lagringsmuligheden i systemet. Endelig er forbrændingsprodukterne fra brint udelukkende vand. Brint er således et yderst miljøvenligt brændsel, forudsat, at konvertering fra den primære energikilde ikke er belastende for miljøet.

Brint kan transporteres på flydende form i tankskibe og -biler, eller i rør ligesom f.eks. naturgassen. Ved transport i rør er der tale om samme problemstilling som ved gasnet, dog vil der være større diffusion.

Brint er mere eksplosivt end naturgas, hvorfor der må tages ekstra sikkerhedsregler i brug. Derimod har brint en høj antændelsestemperatur og brænder med en lavere flamme-temperatur, hvorfor faren for forbrænding er mindre ved uheld end ved f.eks. benzin, hvor alene strålingsvarmen fra brændende benzin er årsag til mange forbrændinger.

Lagring af brint

Lagring af brint kan ske i faste stoffer, flydende form eller under tryk. I dag anses lagring på flydende form til brug i transportmidler at være lige så sikkert som benzintanke og lagring i faste stoffer er i dag mere sikkert end benzintanke.

4.2. Energiproduktion

El, varme og kraftvarme

Afsnittet er delt op i 3 underafsnit: elektricitet-, varme- og kraftvarmeproduktion. I de forskellige afsnit beskrives, hvordan el og varme typisk produceres idag, og derefter gives forskellige bud på, hvad renere teknologi kan være inden for den enkelte produktionsgren. Hele transportsektoren, også dens energiproduktion, er beskrevet i afsnit 3.2.4. Energi produceret på basis af atomkernefusion og -fission vil ikke blive medtaget.

Effektivitet og emissioner

Ved de forskellige produktionsmåder angives, hvor stor effektiviteten er samt de tilhørende emissioner af forurenende stoffer (SO_2 , NO_x og CO_2). Emission af tungmetaller mm. beskrives i afsnittet om energikilder. Emission af SO_2 og CO_2 er afhængig af indholdet af kulstof og svovl i brændslet, mens emission af NO_x er afhængig af forbrændingstemperaturen, luftoverskud ved processen og indholdet af kvælstof i brændslet.

Renere teknologi

Ud fra et renere teknologi perspektiv bør emissionerne af alle de forurenende stoffer reduceres mest muligt. Dette kan gøres på forskellige måder:

- benytte forbrændingsmetoder med højere virkningsgrader således, at der forbruges mindre primær energi til samme elproduktion,
- benytte forbrændingsmetoder, der giver lavere NO_x -emission,
- benytte brændsler med lavere indhold af svovl, tungmetaller og kulstof i forhold til brændværdi, evt. fraseparere svovl til anvendelse i industrien som f.eks. svovlsyre eller gips,

- udnytte processer, der forhindrer NO_x-emission f.eks. vha. katalysatorer eller deNO_x-anlæg,
- benytte fornybare brændsler og udnytte de vedvarende energikilder i videst muligt omfang.

For alle forbrændingsmetoder gælder, at det er vigtigt, at få frasepareret tungmetaller og andre miljøfremmede stoffer, således at de kan deponeres særskilt, selvom der hermed kan være miljøproblemer.

4.2.1. Elproduktion

Kulfyrede kraftværker

95% af elproduktionen idag foregår på centrale *kulfyrede kraft- og kraftvarmeværker*. Kullene males til kulstøv og afbrændes i kedler, hvor vand opvarmes til damp som udnyttes i dampturbiner. Ved forbrænding af kullene dannes der forureningsstoffer som SO₂, NO_x, CO₂ og flyveaske, der bliver udledt med røggassen. Der benyttes idag anlæg til at fjerne nogle af disse forureningsstoffer fra røgen. På de fleste kraftværker er monteret filtre til fraseparering af flyveasken og på enkelte værker er etableret afsvovlingsanlæg. Det planlægges endvidere at etablere deNO_x-anlæg til reduktion af NO_x-emissionerne på enkelte anlæg. Rensningsteknologierne bruger energi til rensningen - i størrelsesordenen 1%-10% af elproduktionen afhængig af anlægstype og emissionskrav. Der planlægges at genanvende restprodukterne fra rensningsanlæggene, men der kan opstå problemer med at afsætte produkterne, og dette vil give deponeringsproblemer. I alle tilfælde er rensning blot en ændring af recipienten fra luft til jord eller vand, med mindre stofferne holdes i konstant recirkulation (genanvendelse).

Mindre forurenende teknologier

I traditionel elproduktion anvendes som oftest dampturbineteknologien som beskrevet ovenfor. I det følgende beskrives mere energieffektive samt mindre forurenende elproduktionsmetoder.

Fluid-bed firing

Fluid-bed firing er en teknologi til forbrænding i et kraftværk. Den består af en lodret cylinder, hvori der findes en "bed" med inaktive partikler (sand eller aske) samt kalk såfremt brændslet er svovlholdigt. Herigennem sendes en blanding af brændstof og luft med en tilstrækkelig hastighed til at partiklerne holder sig svævende. Forbrændingen foregår her ved en temperatur som er væsentligt under flammemetemperaturen (1600°C) (normalt er den ca. 900°C). Dette bevirker, at NO_x emissionen mindskes meget kraftigt. Der er dog risiko for, at der kan udvikles lattergas (N₂O) ved denne firingsteknik. Til fluid-bed kedlen kobles en dampturbine og evt. en gasturbine til røggassen. Teknologien er under udvikling og forventes kommercielt tilgængeligt i begyndelsen af 1990'erne. (ref 4.5)

Elproduktion med gas

Af andre produktionsmetoder kan nævnes *gasmotorer, gasturbiner, combined cycle-anlæg* (alle er kendte teknologier), som har højere virkningsgrader under drift end den traditionelle dampturbine. Disse teknologier anvender gas som brændsel, og det kan være naturgas, biogas, forgasset biomasse eller forgasset kul. Ved at forøge luftoverskuddet eller tilføre damp i forbrændingsprocessen kan emissionen af NO_x reduceres kraftigt. Damptilførsel i gasturbiner forøger samtidig effektiviteten i elproduktionen.

Forgasning

Ved forgasning af kul og biomasse produceres en blandingsgas med brint, kulilte og kuldioxid. Denne gas kan benyttes parallelt til naturgas og biogas f.eks. i gasmotorer, gasturbiner, combined cycle anlæg eller i brændselsceller (se næste afsnit). Som biprodukter ved forgasningen kommer noget slagge som indeholder tungmetaller, aske og uforbrændt kul samt svovl i forbindelsen H_2S og kvælstof fra brændslet i forbindelsen NH_3 . H_2S og NH_3 kan fjernes i dette stadie, hvor gassens volumen er lille i forhold til røggassens, og det er lettere at fjerne gasserne og finde genanvendelse for dem, end hvis de optræder som SO_2 og NO_x i røggassen. Brændslerne mister noget af deres brændværdi ved forgasningsprocessen (ca. 10-15%), men dette opvejes af, at gassen kan benyttes i produktionsanlæg med højere effektivitet end de traditionelle anlæg som anvender faste brændsler.

Brændselsceller

En anden form for elproduktion ved anvendelse af forskellige brændsler, dog uden der sker en forbrænding, er ved brug af brændselsceller. I disse foregår energiomsætningen ved en kemisk reaktion mellem brint og ilt og evt. mellem kulilte og ilt eller mellem methan og ilt. I brændselscellerne skal det tilførte brændsel være meget brinholdigt (evt. kulilteholdigt). Det er derfor nødvendigt at reformere brændslerne (både fossile og biomasse brændsler kan anvendes) til brintrige gasser. Selve reaktionen i brændselscellen er en særdeles ren proces, hvor reaktionsprodukterne er rent vand og CO_2 . NO_x -forureningen kan begrænses kraftigt, fordi reaktionen sker ved forholdsvis lave temperaturer, og fordi det er muligt at styre luftmængden særdeles godt.

Brændselsceller kan sammensættes til en vilkårlig størrelse og udbygning kan ske forholdsvis hurtigt. De er ikke særligt pladskrævende og støjer ikke under drift. Det vil være muligt at opføre brændselscelleværker tæt ved bebyggelse eller på virksomheder, og altså i nærheden af forbrugsstedet, hvilket mindsker nettabene i ledningerne. Dette er også en fordel såfremt, der sker samproduktion mellem el og varme.

Teknologien er under udvikling, og de første brændselsceller forventes at blive kommercielt tilgængelige i slutningen af 1990'erne, og man regner med at de har virkningsgrader omkring 40%. Virkningsgraden for elproduktion i brændselsceller forventes at kunne øges til ca. 60%. (ref. 4.5 og 4.6)

Virkningsgrader og emissionsforhold for de forskellige produktionsmetoder er angivet i figur 4.1.

Figurforklaring

I tabellen er medtaget de teknologier, hvor der opnås en større effektivitet eller færre emissioner end i de traditionelle anlæg. Inden for den enkelte teknologi er det den mest effektive, der er medtaget, og virkningsgrader og emissioner er udfra det nuværende teknologistade. For de forskellige produktionsteknologier er der for overskuelighedens og sammenlignelighedens skyld kun angivet et brændsel, oftest kul eller naturgas. Fornybare brændsler som f.eks. halm, træ og biogas kan naturligvis anvendes, og disse giver intet CO_2 bidrag.

Fornybare brændsler

El-produktion Forbrændingsteknologi	Virknings- grad	Emission		
		SO ₂ g/kWh	NO _x g/kWh	CO ₂ g/kWh
Kulkraftværk, gnsnit	40%	5,2	4,3	919
Kulstøv, damp turb. bedst	45%	1,0 (*)	1,6 (*)	800
Kulforg. + combined cycle	42-45%	0,2 (*)	0,4	800
Biomasseforg. + gasturb.	40%	1,2	0,1	0
Fluid-bed med kul	45%	0,4 (*)	0,2	800
Combined cycle, naturgas	50%	0	0,4	410
Gasturbine, dampinjekt.	47%	0	0,1	435
Gasmotor, naturgas	40%	0	0,7	513
Brændselscelle, naturgas	40-60%	0	0	3-600

Effektiviteterne er beregnet på basis af brændslets nedre brændværdi. Effektiviteterne og emissionerne er angivet for optimale driftsforhold, og medtager ikke processens egetforbrug til pumper, blæsere, rensningsteknologier mm.

(*) angiver, at emissionsniveauet er opnået ved rensning af røggassen eller i forbrændings- eller forgasningsprocessen.

Figur 4.1

Virkningsgrader og emissioner til luft for forskellige forbrændingsteknologier ved elproduktion (ref. 4.5, 4.6, 4.7 og 4.11)

Elproduktion med VE

Til slut skal nævnes, at den reneste produktionsmetode til frembringelse af elektricitet vil være på basis af *vedvarende energikilder*.

Vindmøller

Vindmøller er en kendt teknologi og under stadig udvikling og udbygning i Danmark. Begrænsningerne for disse er, at elproduktionen er afhængig af vindforholdene, såfremt der ikke udnyttes lagring af elektriciteten. Gener fra vindmøller begrænses til at være støj samt visuelle og fredningsmæssige problemer.

Solceller

Solceller er også kendt teknologi, men benyttes ikke i særlig stor udstrækning i Danmark. Dette skyldes dog ikke tekniske forhold, men derimod at prisen for den installerede effekt er for høj i forhold til andre el-produktionsmetoder. Solcellerne har ikke så høj ydelse på vores breddegrader som på mere sydlige placeringer på grund af den ringe solindstråling i vinterhalvåret.

Vandkraft

Udnyttelse af vandkraft til produktion af el er også en kendt teknologi, som udnyttes i lille målestok i Danmark. De geologiske forhold giver dog ikke noget stort potentiale for vandkraft.

Bølgeenergi

Elproduktion kan også foregå på basis af bølgeenergi, hvor man udnytter kraften i bølgerne til at drive en turbine. Denne teknologi er under udvikling, og den forventes at kunne give gode resultater. Der kan dog forventes miljømæssige problemer ved

udnyttelse i stor skala, samt der kan være fredningsbestemmelser, der reducerer placeringsmulighederne.

For beskrivelse af potentialerne for elproduktion med vedvarende energi i Danmark henvises til ref. 4.7. Teknologier til udnyttelse af VE til elproduktion ses i ref. 4.8.

4.2.2. Varmeproduktion

Olie-/naturgasfyr

Individuel varmeproduktion

Den mest udbredte opvarmningsform er individuel fyring med enten *olie* eller *naturgas*. Forureningen fra disse sker foruden globalt også i lokalmiljøet, og for naturgasfyr er der problemer med høj NO_x-emission i lav højde.

Elvarme

En del boliger mm. benytter også *elektricitet* til opvarmning. Dette er en meget dårlig udnyttelse af el, og den medfører store emissioner på kraftværkerne i forhold til energitjenesten.

Biobrændselfyr

Som individuel opvarmningsform benyttes også lokale fyr, der anvender *biobrændsler*, f.eks. halm og træ. Forureningen fra træ- og halmfyring er relativ stor i lokalmiljøet - specielt med PAH og støv, og der kan opnås væsentligt større virkningsgrader og lavere forurening i kollektive fyr.

Varmepumper

Desuden benyttes *varmepumper* (mest eldrevne), som udnytter energien i et medium ved lavere temperatur f.eks. luft eller jord og afsætter den i varmeanlægget ved en højere temperatur. Man regner med, at effektfaktoren (nyttig energi/tilført energi) kan komme op på ca. 3, men da den optagne energi som oftest er i form af elektricitet, som i sig selv har en virkningsgrad på 35-40% vil den samlede effektfaktor for systemet blive ca. 1 i forhold til primærenergien. Der er desuden et miljømæssigt problem, hvis energien opsamles i form af en jordslange, da dette giver risiko for permafrost i jorden samt risiko for lækage af jordslangen og dermed nedsivning af brinen (ofte ethylenglykol) til grundvandet.

Fjernvarme

Kollektiv varmeproduktion

Opvarmningen kan også komme fra et kollektivt *fjernvarmeværk*, som fordeler varmen gennem et fjernvarmerørsystem. Fordelene ved fjernvarme er, at fjernvarmeværket har høj virkningsgrad, der er mulighed for bedre styring af forbrændingsforholdene og evt. rensning af røggassen og der er mulighed for at variere brændslet. Fjernvarmeværker kan således anvende både fossile og fornybare energikilder. Ulempen ved fjernvarmeværker er distributionsledningerne, hvori der kan være væsentlige varmetab, jf. afsnit 4.1.3.

Virkningsgrader og emissioner for de forskellige varmeproduktionsmetoder er angivet i figur 4.2.

Effektiviteterne i figur 4.2 er beregnet på basis af brændslets nedre brændværdi. Effektiviteterne og emissionerne er angivet som årsgennemsnit og egetforbruget til produktionen er ikke medtaget.

Varmeproduktion Forbrændingsteknologi	Virknings- grad	Emission		
		SO ₂ g/kWh	NO _x g/kWh	CO ₂ g/kWh
Naturgasfyr, individuel	75-95%	0	0,2	240
Oliefyr, individuel	70-80%	0,6	0,2	366
El-varme	40%	5,2	4,3	917
Varmepumpe, el COP=3	120%	1,7	1,4	306
Halm og træ, individuel	50-70%	0,8	0,2	0
Biogas, individuel (1)	55%	5,1	0,9	83
Halm og træ, fjernvarme	80%	0,5	0,6	0
Naturgas, fjernvarme	95%	0	0,6	215
Olie, fjernvarme	90%	2,0	0,6	296

(1) Biogasproduktion kræver en eltilførsel på 5 % af den samlede energitilførsel, og emissionerne fra denne er medregnet. Biogas har et relativt stort indhold af H₂S, som her tillægges SO₂-emissionen.

Forskellen på emissionerne for individuelle og kollektive oliefyr skyldes, at der ved de kollektive fyr er regnet med fuelolie som brændsel, mens det for de individuelle fyr regnes med gasolie.

Figur 4.2

Virkningsgrader og emissioner til luft for forskellige forbrændingsteknologier ved varmeproduktion (ref. 4.10 og 4.11)

Aktiv og passiv solvarme

Endelig er der opvarmning med den rene vedvarende energikilde *solen*, som både kan udnyttes som aktiv og passiv solvarme. Aktiv solvarme består af solfangere, som opvarmer vand til cirkulation i boligens varmeanlæg og passiv sol udnyttes i glastilbygninger, solvægge mm. Effekten af aktiv solvarme kan øges ved at benytte sæsonvarmelagre. Aktiv solvarme kan opføres både som kollektive og individuelle anlæg. Sæsonlagre er dog indtil videre kun aktuelle for kollektive anlæg.

Procesvarme

Forskellige industrielle processer kræver opvarmning (fx. smeltning og tørring), og denne varme frembringes ved afbrænding af brændsler. Varmen udnyttes ofte ved høje temperaturer (100 - 1500°C), og den termiske virkningsgrad er ofte lav. Virkningsgraden kan øges ved at udnytte mere effektive afbrændingsmetoder (jf. elproduktionsafsnittet). Virkningsgraden kan også øges ved at producere el sammen med varmen (decentral kraftvarme) eller at udnytte spildvarmen til andre opvarmningsformål.

4.2.3. Kraftvarmeproduktion

Forskel i energikvaliteter

I de foregående afsnit er vist, hvordan elektricitet og varme kan produceres hver for sig. Ren elproduktion baseret på brændsler har som oftest relativt lave virkningsgrader ($< 50\%$), mens varmeproduktion opnået ved afbrænding af brændsler har høje virkningsgrader (80-95%). Den producerede energimængde er dog af meget forskellig karakter - energikvaliteten af lavtemperaturvarme er meget lavere end af el, idet el kan benyttes til mange formål som f.eks. motordrift, belysning og computere, mens lavtemperaturvarme umiddelbart kun kan bruges til opvarmning. Der går en stor mængde energikvalitet tabt ved at afbrænde et brændsel ved temperaturer over 1000°C og anvende energien til at opvarme et hus til 20°C . Der kan kompenseres for dels den lave virkningsgrad ved produktion af el og dels den lavere energikvalitet af brændselsbaseret opvarmning ved at samproducere elektricitet og varme i kraftvarmeværker. Det resulterer i en høj totalvirkningsgrad, dog med den virkning, at elvirkningsgraden ofte vil blive reduceret i forhold til den rene elproduktion.

Centrale kraftvarmeværker

Ved de *centrale kraftværker* i de store byer foregår der allerede idag en stor samproduktion. Til fjernvarmen kræves de fleste steder en relativ høj temperatur på fremløbsvandet ($80 - 120^{\circ}\text{C}$), og derfor må dampen i dampturbinen tages ud ved en højere temperatur, end det ellers er nødvendigt. Der afprøves dog systemer med lavtemperaturfjernvarme, hvor fremløbstemperaturen er noget lavere (ca. $60-70^{\circ}\text{C}$). Der kan dog med lavtemperaturfjernvarme opstå problemer med bakterievækst i varmtvandsbeholdere, og i alle tilfælde vil overgang til lavere fremløbstemperaturer kræve større radiatorer i boligerne

I alle de i afsnit 4.2.1 nævnte forbrændingsteknologier er der mulighed for samproduktion mellem el og varme. I figur 4.3 er de forskellige teknologier angivet med tilhørende totalvirkningsgrader og elvirkningsgrader for et givet el/varme forhold (Cm-værdi).

Figurforklaring

I tabellen er medtaget de teknologier, hvor der opnås en større effektivitet eller mindre emissioner end i de traditionelle anlæg. Inden for den enkelte teknologi er det den mest effektive der er medtaget, og virkningsgrader og emissioner er udfra det nuværende udviklingsstade. For de forskellige produktionsteknologier er der for overskuelighedens og sammenlignelighedens skyld kun angivet et brændsel, oftest kul eller naturgas. *Fornybare brændsler som f.eks. halm, træ og biogas kan naturligvis anvendes og disse giver intet CO_2 bidrag.*

Fornybare brændsler

Ved sammenligning af figur 4.1 og figur 4.3 ses, at elvirkningsgraden for de fleste anlægstyper reduceres væsentligt, bortset fra gasmotorer og brændselsceller som bibeholder deres elvirkningsgrader.

Kraftvarmeproduktion Forbrændingsteknologi	Virkningsgrader			Emission		
	ab værk			g/kWh total produceret		
	Total	Cm	El	SO ₂	NO _x	CO ₂
Kulkraftvarmeværk, gns.	90%	0,5	30%	2,3	1,9	919
Kulstøv, dampturb. bedst	91%	0,65	36%	0,5 (*)	0,8 (*)	396
Kulforg. + comb. cycle	82%	0,82	36%	0,1 (*)	0,2	437
Fluid-bed med kul	83%	0,8	37%	0,2 (*)	0,3	432
Combined cycle, naturgas	90%	1,0	45%	0	0,2	227
Gasmotor, naturgas	85%	0,9	40%	0	0,3	241
Brændselscelle, naturgas	90%	2	60%	0	0	227

(*) angiver, at emissionsniveauet er opnået ved rensning af røggassen eller i forbrændings- eller forgasningsprocessen.

Figur 4.3

Virkningsgrader og emissioner til luft for forskellige forbrændingsteknologier ved KV-produktion (ref. 4.5, 4.6, 4.7 og 4.11)

Decentrale kraftvarmewærker

Kraftvarmeproduktion kan også foregå i *decentrale kraftvarmewærker*, og disse er under stor udbygning. Fordelene ved decentrale værker er, at der er væsentligt mindre nettab, og der er bedre mulighed for en optimal dimensionering og drift af værket.

LOCUS-anlæg

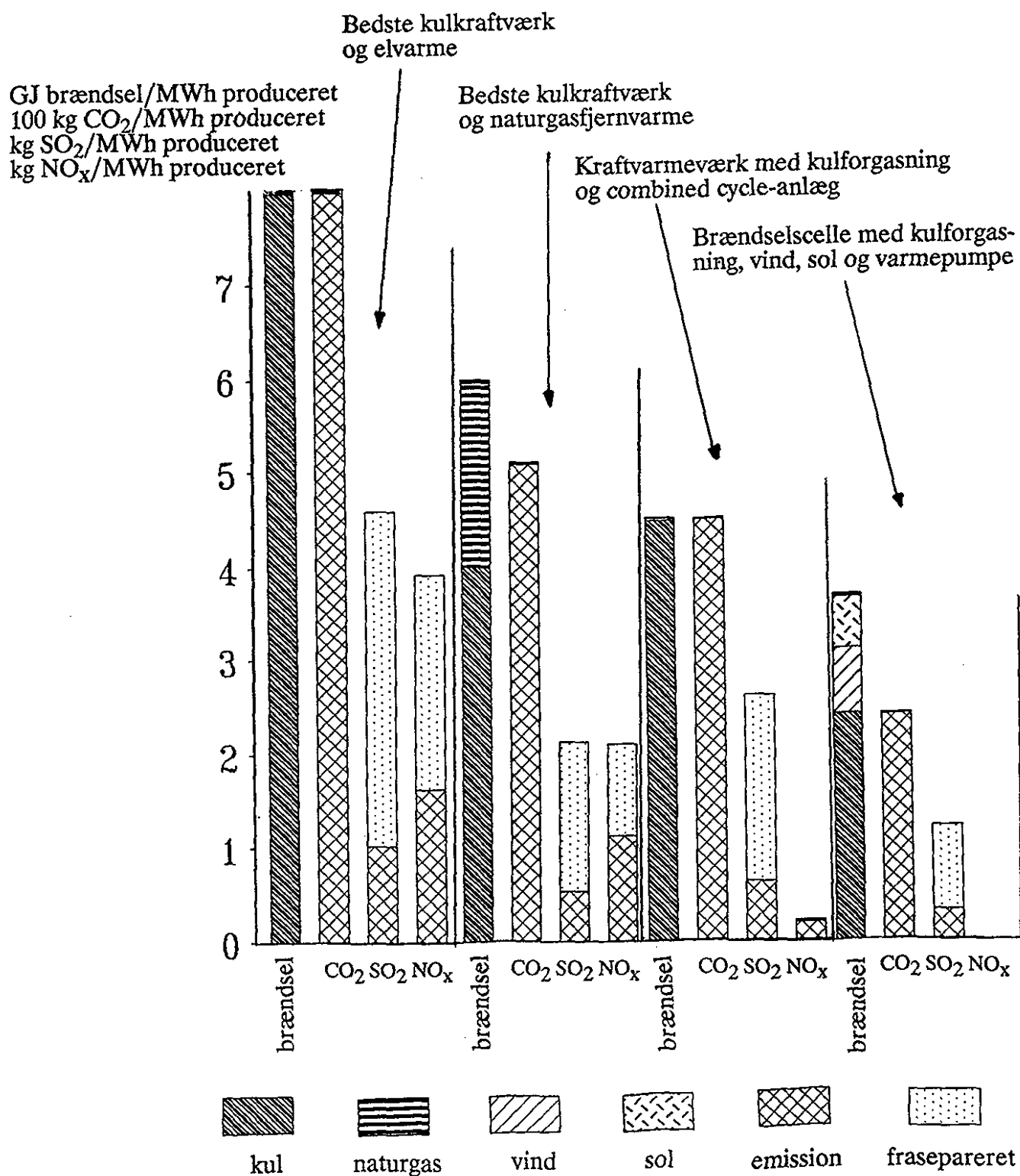
En måde hvorpå man kan få inddraget de vedvarende og fornybare energikilder i den kombinerede kraft og varmeproduktion kan være *LOCUS-systemet*. Her benyttes f.eks. vindmøller som grundlast for elproduktionen, og der suppleres med el produceret i et kraftvarmewærk, som udnytter f.eks. biogas som brændsel. Såfremt varmebehovet er større end den varme kraftvarmewærket i samarbejde med evt. solfangere leverer, kan varmeproduktionen udvides med energi fra en varmepumpe, som bliver trukket direkte af kraftvarme-motoren. Endelig kan systemet suppleres med et varmelager (døgn eller sæson) og evt. en kedel til andre brændsler til opvarmning. Dette er et meget fleksibelt anlæg, som kan udnytte de rene energikilder først og supplere med de øvrige. LOCUS-systemet er beskrevet yderligere i afsnit 5.2.3.

Sammenligning af produktionsmetoder

På figur 4.4 er illustreret, hvordan man kan opnå en el og varme-produktion på hver 500 kWh ved hjælp af forskellige forsyningsteknologier. Alle teknologierne baserer sig på kul som energikilde, dog er der valgt naturgas til fjernvarmen. Nederst på figuren er illustreret de tilhørende brændselsforbrug og emissioner.

Den sidste teknologi med brændselsceller, vind, sol og varmepumpe regnes med 200 kWh_{el} fra vindkraft, 170 kWh_{varme} fra sol, 350 kWh_{el} og 180 kWh_{varme} fra brændselsceller, og af elproduktionen bruges 50 kWh_{el} til varmepumpen, som yder 150 kWh_{varme} (COP = 3). Brændselscellerne og kraftvarmewærket benytter forgasset kul, og her regnes med en konverteringseffektivitet på 80%.

<i>Sammenligning af eksempler</i>	Af figuren ses, at den løsning, der medfører de største emissioner og det største brændselsforbrug, er <i>elproduktion på kondensværk og elvarme</i> . Sammenlignes <i>elproduktion på kondensværk og naturgasfjernvarme</i> med <i>kraftvarmeværk med kulforgasning og combined cycle-anlæg</i> ses, at kraftvarmeværket bruger mindre brændselsmængde og der er lavere emission af CO ₂ og NO _x , mens emissionen af SO ₂ bliver højere. Dette skyldes, at naturgassen til fjernvarme er et væsentligt renere brændsel end kul.
<i>Reneste løsning</i>	Den reneste løsning af de her skitserede er den sidste med brændselceller, vind, sol og varmepumpe. Dette skyldes, at der inddrages væsentlige mængder af vedvarende energi, og at brændselcellerne kører med høj effektivitet både totalt og på elproduktionen. Dette system er meget fleksibelt og kan derfor inkorporere en stor del vedvarende energi. Der kunne naturligvis skitseres mange andre løsningsmodeller for produktion af el og varme, men her har vi valgt at benytte de ekstreme produktionsmetoder (baseret hovedsagelig på kul som energikilde) og nogle mellemløsninger baseret på kollektiv forsyning.
<i>VE reneste løsninger</i>	Opsamling på forsyningsteknologier Som helhed kan siges, at brug af vedvarende energi (sol, vind mm) er de reneste løsninger til produktion af el og varme. Fornybare energikilder giver intet totalt CO₂-bidrag ved afbrænding, men kan give andre emissioner i form af NO_x, SO₂, PAH, kulbrinter, støv oa.
<i>Naturgas, bedre muligheder</i>	Af de fossile energikilder er naturgas det reneste brændsel, idet emissionen af CO ₂ og SO ₂ er væsentligt lavere end for olie og kul. Desuden kan naturgas anvendes i de produktionsanlæg med de højeste virkningsgrader som brændselceller og combined-cycle anlæg.
<i>Kul, mange problemer</i>	Anvendelse af kul som energikilde giver mange problemer, selv om der forsøges med forskellige rensningsteknologier. Der er på nuværende tidspunkt gode muligheder for at få afsat rensningsprodukterne til bl.a. gips, svovlsyre og cementproduktion, men det må forventes, at det på et tidspunkt, hvis den nuværende struktur med meget brug af kul fortsætter, vil blive nødvendigt at deponere restprodukterne. I alle tilfælde vil rensningsteknologierne blot ændre recipienten. Anvendelse af kul medfører tillige en stor emission af CO ₂ , som der ikke kan renses for, og samtidig forøger rensningsanlæggene denne emission, da de er temmelig energikrævende.



Figur 4.4
Brændselsforbrug og tilhørende emissioner og restprodukter ved produktion af 500 kWh el og 500 kWh varme med forskellige teknologier.

4.3 Energikilder

Input til energiomdannelse

Energikilder forstås her som det eller de råstoffer, der anvendes som input til energiomdannelsen i produktionsteknologierne. Der vil være visse energikilder f.eks. motorbrændstoffer, som også må inkludere konverteringsprocessen fra råolie til hhv. dieselolie og benzin. For de vedvarende energikilder er råstofferne vind, sol, kinetisk og potentiel energi af vand og bølger. Disse energikilder må opfattes som naturlige fysiske fænomener, der kan udnyttes ved hjælp af passende teknologier.

Mange forhold vurderes

Når energikilderne underlægges en miljømæssig vurdering, bør en række forhold vurderes. Det gælder f.eks. direkte miljøbelastninger ved udvinding og transport til energikonverterings- og produktionsanlæggene, samt indirekte miljøbelastninger hidrørende fra energiforbrug til udvinding og transport af energikilderne. Desuden bør man behandle problemer vedrørende støj-, lugt- og stofemissioner til luft, vand og jord ved lagring af råstofferne, før de anvendes i energiproduktionsanlæggene. I denne analyse nævner vi også de emissioner fra produktionsanlæggene, der skyldes indholdet af forskellige stoffer i de forskellige brændsler. Det omfatter f.eks. svovl, kulstof og tungmetaller. En nærmere gennemgang af emissioner fra det nuværende energiforsyningssystem kan findes i ref. 4.11.

Vi vil i det følgende dele energikilder op i tre grundlæggende forskellige typer: fossile, fornybare og vedvarende energikilder.

4.3.1 Fossile energikilder

De i dag mest anvendte fossile energikilder i Danmark er kul, olie og naturgas. Kul anvendes stort set kun til elproduktion og store kraftvarmeanlæg svarende til 35 % af det totale primærenergiforbrug (1988), mens olie hovedsagelig anvendes til rumopvarmning, procesenergi og transportformål, svarende til 47 % af primærenergiforbruget. Naturgas anvendes til rumopvarmning, samt til el- og varmeproduktion.

Begrænset ressource

Fossile brændsler er dannet gennem flere hundrede millioner år ved naturlige processer af organisk materiale aflejret gennem tiderne. Mængden af fossile brændsler er begrænset, og alene det, at der er tale om udtømning af naturlige ressourcer gør, at det ikke er en bæredygtig løsning på langt sigt. Desuden er afbrænding af de fossile brændsler årsag til bl.a. CO₂-emissioner, som er medvirkende årsag til drivhuseffekten (ref. 4.13).

Reserver

Med det nuværende globale energiforbrug og kendte ressourcer, rækker de fossile brændsler til 500-600 år. Forudsættes de fattige lande at nå op på et energiforbrug pr. indbygger på niveau med de rige landes i dag, er der imidlertid kun reserver til ca. 100 år (ref. 4.14).

Brydning

Kul

Brydning af kul foregår i kulminer. Til brydning af kullene bruges energi i størrelsesordenen 5 GJ/ton, som afhængig af de anvendte energikilder og -produktionsanlæg også medfører miljøgener. Ved brydning af kul frigøres methan fra kullene. Der er tale om methan svarende til op til 3% af brændværdien af det brudte kul (ca. 20 Nm³ methan per ton kul) (ref. 4.15). Ca. halvdelen af methanen opsamles og anvendes til energipro-

duktion. Resten emitteres til luften ved transport og lagring eller forbrændes med kullene på energianlægget.

Emissioner

Ved den energimæssige udnyttelse af kul emitteres store mængder kuldioxid (ca. 2,5 ton CO₂/ton kul), svovl (ca. 18 kg/ton) og tungmetaller som f.eks. kviksølv (ca. 0,1 g/ton) og cadmium (ca. 1 g/ton). Der er dog stor variation i kullets indhold af svovl og tungmetaller. Emissionerne foregår *uanset måden* kullene anvendes på og eventuel konvertering til andre brændselsformer (f.eks. gas), idet der ved disse foranstaltninger kun ændres på, hvilket medium stofferne emitteres til. Således vil f.eks. røgrensning kun medføre en flytning af de forurenende stoffer fra luft til deponeringsstedet (vand og jord).

Transport

Transporten af kul fra minerne til danske energiproduktionsanlæg foregår hovedsagelig ad søvejen, og medfører også brug af energi til fremdrift af skibene i størrelsesordenen 50 kJ olie pr. ton·km. Er den gennemsnitlige transportlængde for kul 10.000 km, svarer det til ca. 0,5 GJ/ton kul transporteret til Danmark.

Endelig kan losning og lagring af kul medføre støvforurening og nedsivning af miljøskadelige stoffer.

Udvinding

Olie

Udvinding af olie foregår ved tømning af oliefyldte lommer i undergrunden på land og i have rundt omkring i verden. I Danmark finder det sted i Nordsøen. Olien transporteres hovedsagelig i tankskibe og rørledninger. Der forekommer af og til udslip fra såvel boreplatforme, rørledninger og tankskibe. Udslippene kan være særdeles alvorlige som f.eks. ved det uheld der er sket fornyligt ud for Alaska, hvor et tankskib løb på grund.

Transport

Til transporten bruges energi med de dertil hørende miljøbelastninger. Det meste af olien dækkes i dag fra de indenlandske oliefelter og den gennemsnitlige transportafstand er derfor i størrelsesordenen 300 km, svarende til et transportenergiforbrug på 0,015 GJ/ton olie.

Emissioner

Anvendelsen af olie som brændsel i energiforsyningsanlæg medfører emissioner af kuldioxid, svovl og tungmetaller, som følge af indholdet af disse stoffer i selve brændslet. Olie indeholder kun ca. 73 % kulstof i forhold til kul. Olie er således m.h.t. drivhus-effekten mindre forurenende end kul som energikilde. Indholdet af svovl og tungmetaller er, lige som for kul, meget svingende og afhænger af oprindelsessted, grad af raffinering mm. I dag bliver der stillet krav til maksimalt svovlindhold (1989: 1 %), hvilket medfører en svovlemission på højst 20 kg/ton. Cadmiumindholdet er mindre end i kul (med stor variation) og kviksølvindholdet er forsvindende i.f.t. kul.

Lagring

Olie opbevares og lagres i store tankanlæg, der udover eventuelle visuelle gener, ikke vides at have miljøgener af betydning. Selve raffineringen af råolien bruger både energi (ca. 5 % af råolieforbruget) og giver anledning til udslip af miljøskadelige stoffer til såvel luft, vand og jord.

Udvinding

Naturgas

Naturgas udvindes lige som olie og transporteres som regel v.h.a. rørledninger. Energiforbruget til udvinding og tryksætning er omkring 10-15 % af den udvundne gasmængde.

<i>Emissioner</i>	Naturgas er det mindst forurenende af de fossile brændsler m.h.t. kuldioxid, svovl og tungmetaller, idet kulstofindholdet er ca. 57 % af kuls, svovlindholdet lavt, og indholdet af tungmetaller er forsvindende.
<i>Lagre</i>	Naturgassen findes i transmissions- og fordelingsnettet, og der er etableret et naturgaslager ved Ll. Torup i Jylland. Naturgaslagringen sker i udskyllede salthorste (kaverner) og er etableret for at sikre forsyningen i spidslastperioder og ved reparationer af naturgasledningen i Nordsøen og naturgasbehandlingsanlægget ved Varde. Muligheden for etablering af endnu et naturgaslager i en tæt geologisk formation ved Stenlille på Sjælland bliver for tiden undersøgt. Miljøeffekterne ved naturgaslageret består hovedsageligt i emission af drivhusgassen methan i forbindelse med eftersyn og reparation af anlægget og evt. utætheder i rørsystemerne og de geologiske formationer. Endvidere benyttes der på gasbehandlingsanlægget CFC-gas i kølesystemet.
<i>Svovl tilsættes</i>	Naturgassen fra de danske Nordsøfelter renses i dag ikke for andet end nogle af de tungere kulbrinter, før den sendes ud i nettet til forbrugsstederne. Der kunne være små mængder svovlbrinte i gassen, hvorfor DONG's modtageanlæg også har rensekapacitet til dette formål, men det har vist sig at den danske naturgas indtil nu har været fri for svovl. Imidlertid tilsættes svovlforbindelser i form af tetrahydrothiophen (C_4H_8S) til odeurisering (tilsætning af "gaslugt") af gassen. Det drejer sig om 15-20 mg/Nm ³ eller ca. 20 ton/år med det nuværende forbrug (ref 4.12), svarende til emission af ca. 15 ton SO ₂ pr. år, hvilket dog er forsvindende i forhold til den øvrige emission af SO ₂ .

4.3.2 Fornybare energikilder

<i>Fornyres ved naturlig vækst</i>	De fornybare energikilder bliver også i nogle sammenhænge opfattet som en del af de vedvarende energikilder. Fornybare energikilder udmærker sig ved, som navnet også siger, at kilderne ikke udtømmes, men fornyer sig selv ved naturlige vækstprocesser (fotosyntesen). Der er således tale om biomasse i forskellige former. Biomasse har den umiddelbare fordel i forhold til de fossile brændsler, at de ikke medvirker til CO ₂ -emission ved energiuudnyttelsen. Planterne optager kuldioxid mens de gror, i samme omfang som de ved afbrænding (eller naturlig forrådnelse) udsender kuldioxid. Dette betyder samtidigt at det forudsættes, at der til stadighed bliver tilplantet i samme takt som planterne høstes. I U-lande er der mange eksempler på, at skove fældes og ikke genplanter med følgende mangel på træressourcer og øget ørkendannelse.
<i>CO₂-neutrale</i>	
<i>Restprodukter/energi afgrøder</i>	De fornybare energikilder kan opdeles i to grupper: dem, der er opstået som rest(spild-)produkt fra landbrug, industri eller boliger og dem, der dyrkes med energiproduktion for øje. En nærmere gennemgang af de fornybare energikilder kan findes i ref. 4.8. I det omfang der ikke er angivet andre kilder, er oplysningerne i dette afsnit fra førnævnte rapport.
	Træ, halm, biogas og affald Disse energikilder er alle opstået som restprodukter fra andre produktioner.
<i>Træ og halm</i>	Træ og halm minder meget om hinanden i måden, de kan udnyttes på. Der er i dag et potentiale fra disse kilder på 12-15 PJ/år af

marginale træressourcer, brænde og træaffald, samt omkring 60 PJ/år af overskudshalm. Træ og halm kan anvendes som brændsel i både individuelle og kollektive varme anlæg og kraftvarmeanlæg. Desuden er forgasningsteknologier under udvikling til forgasning af træ og halm til brintrige gasser med et bredere anvendelsesområde. Anvendelsesmulighederne for træ og halm ligner således til forveksling anvendelsen af fossile energikilder.

Biogas

Mængden af organisk affald fra hovedsagelig husdyrproduktionen udgør omkring 5 mill. tons tørstof, svarende til ca. 40 PJ/år i form af biogas.

Halm, træ og biogas er som før nævnt CO₂-neutrale, svovlindholdet i halm og biogas er en tiendedel af svovlindholdet i olie og kul. Indholdet af tungmetaller er meget afhængig af lokale forhold, tungmetalindhold i gødning, sprøjtemidler, foder mm.

Affald

Affald er kun en fornybar energikilde i det omfang, vi bliver ved med at producere affald. Affaldsforbrænding medfører emissioner af skadelig art p.g.a. affaldets indhold af en række miljøfremmede stoffer. Indførsel af renere teknologi kan have både positiv og negativ effekt på anvendelsen af affald til energiformål. Hvis anvendelsen af renere teknologi i husholdning og erhverv giver anledning til en bedre sortering og renhed af affaldet, vil det kunne finde større anvendelse til produktion af biogas fra organisk affald. Renere teknologier kan imidlertid også medføre, at en langt større del af affaldet genanvendes, og det affald der forbliver affald ikke kan anvendes til energiformål. Affald er således ikke en energikilde, der bør sættes på på længere sigt.

Afgrøder som energikilde

Energiafgrøder

Begynder man at dyrke afgrøder med henblik på anvendelse som en egentlig energikilde, er energipotentialet afhængig af størrelsen af de arealer, der reserveres til dette formål. En sådan afvejning må fastlægges ved en politisk beslutning. De afgrøder der kan komme på tale er afgrøder som elefantgræs, træer (energiskov), korn, raps, kartofler, sukkerroer, søsalat m.v.

Dyrkning energikrævende

Der er et vist energiforbrug forbundet med dyrkning og høst af energiafgrøder, og nettoudbyttet af energi kan ligge mellem 80 og 400 GJ/ha. De miljømæssige problemer vil her være af samme art som landbruget har i dag, dvs. udledning af miljøgifte p.g.a. sprøjtning, og gødning af afgrøderne. Derfor kan afgrøderne ligesom halmoverskuddet, indeholde varierende mængder miljøfremmede stoffer. Økologiske dyrkningsmetoder kan mere end halvere energiforbruget ved dyrkning og høst, ligesom denne dyrkningsform vil eliminere miljøbelastninger fra sprøjtegifte.

Gødning med slam mm.

Energiafgrøder kan gødes med slam fra rensningsanlæg, organisk affald fra industrier mm. Der kan dog være problemer med indhold af tungmetaller m.v.. Også her vil renere teknologier i husholdning og industri kunne afhjælpe problemet.

4.3.3 Vedvarende energikilder

Naturlige energikilder

De vedvarende energikilder defineres her som de naturlige energikilder sol, vind, vand(løb) og bølger. Alle disse energikilder har det til fælles, at de altid er tilstede uanset om vi udnytter dem. Det er omsonst at tale om egentlige miljøskadelige effekter forbundet med kilden, idet der først i forbindelse med udnyttelsen

kan være uønskede miljøeffekter. I sig selv er de vedvarende energikilder de optimale, når der er tale om renere teknologi på energiområdet.

Egentlige udnyttelsespotentialer for vedvarende energikilder giver ligeledes først mening, når vi taler om hvilke anlæg der benyttes.

4.4 Specielle behov for teknologisk udvikling inden for energiforsyning

De foregående afsnit viser, at der er følgende behov for teknologisk udvikling:

- Udvikle ledninger til eldistribution, der er fri for miljøproblemer ved afvikling (og undgå PVC)
- Udvikle effektive og billige transmissions- og distributionsledninger til fjernvarme, bl.a. til lavtemperaturfjernvarme uden brug af CFC opskummet polyurethanisolering
- Optimering og støjreduktion af vindmøller
- Forbedring af solcellers effektivitet
- Fortsat udvikling af bølgekraftanlæg
- Udvikling af brændselsceller med høj effektivitet, som kan bruge forskellige brændsler, som naturgas, forgasset biomasse og kul samt brint
- Udvikling af fyr, kedler og kraftvarmeteknologier, samt katalysatorer hertil, med høje virkningsgrader
- Udvikling af effektive forgasningsanlæg, hvor brændværdien i forhold til det oprindelige brændsel ikke reduceres væsentligt (dvs. høj virkningsgrad)
- Fortsat udvikling af forbrændingsmetoder, der giver lavere NO_x-emission, uden at brændselsforbruget stiger
- Udvikling af små kraftvarme-enheder til brug for procesområdet og individuel forsyning
- Forske i energiafgrøder med høj brændværdi i forhold til arealudnyttelse, og effektiv konvertering til brugbare energibærere (gas, alkohol, olie mm.)

Indsatsområder :

- Størst mulig indførelse af vedvarende energi, både i kollektiv og individuel forsyning
- Konvertering fra kul og olie til fornybare brændsler og naturgas
- Indførsel af nye teknologier med høje virkningsgrader, f.eks. combined-cycle, på kraft- og kraftvarmeværker
- Etablering af decentral kraftvarme i mindre byer, på procesområdet og i industriområder
- Konvertere fjernvarmeproduktion til kraftvarmeproduktion
- Konvertere el- og olieopvarmning med fjernvarme fra kraftvarme og solvarme
- Undgå kemikalietilsætning med tungmetaller, klor mm. til biobrændsler under vækst, da disse emitteres under forbrænding

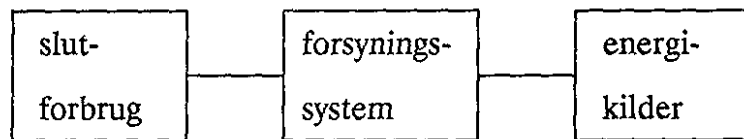
5. Systembetragtninger

Sammenkobling mellem forsyning og forbrug

I dette kapitel vil vi beskæftige os med samspillet mellem energiforbruget og energiforsyningen. Forbrugs- og forsyningssiden er beskrevet hver for sig i kapitel 3 og 4. Sammenkoblingen mellem forsyning og forbrug er specielt interessant indenfor el- og varme-forsyningsområdet, da der her ofte er tale om sammenhængende forsyningssystemer, hvor det svingende forbrug stiller store krav til opbygningen af forsyningsstrukturen. Hovedvægten i kapitlet ligger derfor indenfor forbrug af og forsyning med el og varme.

Forståelsesmodel

I figur 5.1 vises en forenklet forståelsesmodel for opbygningen af energisystemet.



Figur 5.1
Opbygning af energisystemet

Reduktion af miljøbelastninger fra energisektoren kan opnås ved indgreb i hvert af de viste led af energisystemet. Som eksempler kan nævnes valg af vind som energikilde i stedet for fossile brændsler, reduktion af primærenergiforbruget (på forsynings-siden) ved samproduktion af el og varme samt ved reduktion af slutforbruget.

Systemsammenhænge

Man kan imidlertid ikke betragte de enkelte led i energisystemet uafhængigt af hinanden. F.eks. vil en reduktion af slutforbruget i spidslastsituationer nedsætte den nødvendige produktionskapacitet i forsyningssystemet. Som et andet eksempel kan nævnes, at øget udnyttelse af fluktuerende energikilder som vind og bølgekraft vil kræve, at det øvrige forsynings- og forbrugssystem kan tilpasses den varierende elproduktion fra disse energikilder.

De nævnte eksempler illustrerer, at man er nødt til at betragte energisystemet i sin helhed. Det vil vi i det følgende kalde systembetragtninger.

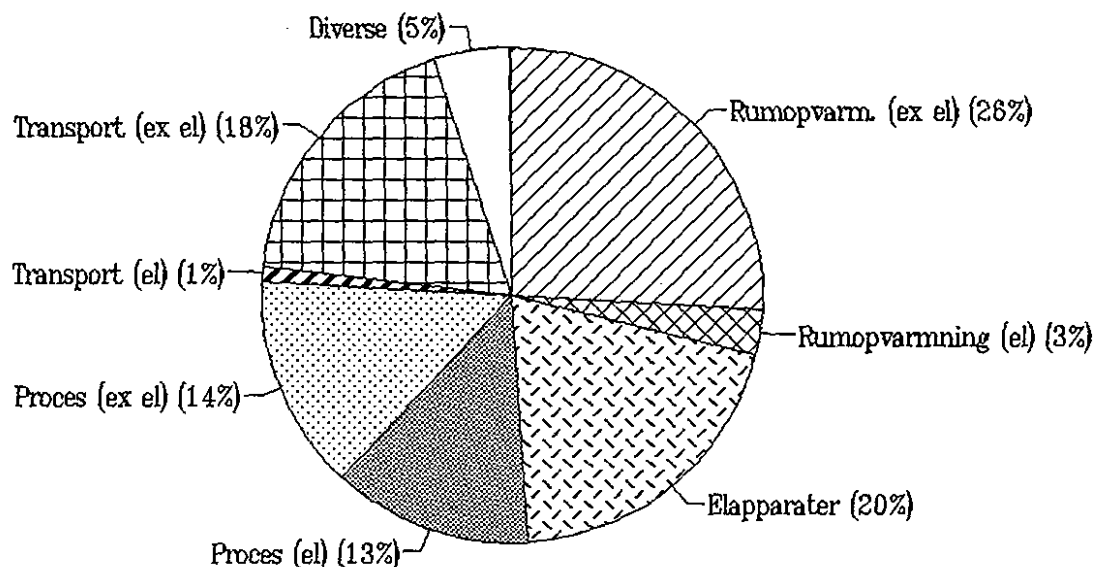
Kapitlets indhold

I dette kapitel lægges hovedvægten på systembetragtninger. Først beskrives det energisystem, vi har i dag. Herefter foretages systembetragtninger for væsentlige RT-initiativer indenfor energisektoren. Til sidst beskrives mulighederne for at øge energisystemets fleksibilitet ved anvendelse af energilagere og energisystemer baseret på brint som energibærer.

5.1 Energisystemet i dag

Bruttoenergiforbrug

Danmarks forbrug af primær-energi (bruttoenergiforbrug) var i 1988 ca. 800 PJ. Heraf udgøres hovedparten af olie (47%), kul (35%) og naturgas (8%). Forbruget er fordelt på forskellige anvendelsesformål, som vist i figur 5.2. Figuren er optegnet på baggrund af oplysninger fra ref. 5.1.



Figur 5.2

Bruttoenergiforbruget 1988 fordelt på anvendelsesformål.

Af figuren ses, at størstedelen af bruttoenergiforbruget (37%) går til forskellige former for elanvendelser (elapparater, elvarme samt elanvendelser indenfor proces- og transportområdet).

Elproduktion

Hovedparten af den danske elproduktion foregår i dag på store, centrale kulfyrede kraftværker. Da elproduktion på disse værker foregår med en forholdsvis lav effektivitet (ca. 30%), er de miljøbelastende emissionerne per produceret kWh store. Knap 1% af den danske elproduktion foregår i dag på vedvarende energianlæg.

Rumopvarmning

Omkring 26% af det danske bruttoenergiforbrug går til rumopvarmning (elvarme ikke medregnet). Varmeproduktion foregår dels hos den enkelte forbruger (oliefyr, naturgasfyr, mm) og dels på fjernvarmeværker og kraftvarmeværker. I de senere år har den kraftvarmebaserede del af fjernvarmeforsyningen været stigende med forøget brændselsudnyttelse for det samlede energisystem til følge.

Da knap 2/3 af det danske bruttoenergiforbrug går til elanvendelse og opvarmningsformål (varmeforbrug indenfor proces ikke medregnet), vil vi i de følgende afsnit se nærmere på sammenhængen mellem henholdsvis elforbrug - elforsyning og varmeforbrug - varmeforsyning.

Proces

Procesenergi udgjorde i 1988 godt 25% af bruttoenergiforbruget, heraf er knap halvdelen i form af elektricitet, mens det resterende forbrug fortrinsvis består af varme (rumopvarmning og procesvarme) og transport. Det samlede bruttoenergiforbrug til proces har været nogenlunde konstant i en årrække, men elandelen er vokset betydeligt. En del af elforbruget indenfor pro-

cesområdet anvendes til fremstilling af varme, hvilket kan være meget uheldigt ud fra et energi- og miljøsynspunkt. På mange virksomheder vil der med fordel kunne etableres små kraftvarmeværker, der kan producere virksomhedens forbrug af elektricitet, rumopvarmning og procesvarme. Procesområdet behandles nærmere i kapitel 4.

Transport

Den sidste store andel af bruttoenergiforbruget i Danmark anvendes til transport. Den motoriserede del af transporten (biler, lastbiler, busser mm) anvender i altovervejende grad olieprodukterne benzin og dieselolie som drivmidler. Transportsektoren giver i dag anledning til store miljøproblemer specielt i det lokale miljø. Transportsektoren behandles nærmere i kapitel 3. Endvidere beskrives i afsnit 5.3.3 et energisystem, der inkluderer en væsentlig reduktion af miljøproblemerne indenfor transportsektoren.

5.1.1 Elforbrug - elforsyning

Miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger fra elforbruget afhænger i høj grad af, hvordan elektriciteten produceres. Miljøpåvirkningerne fra et givet elforbrug kan være meget begrænsede, hvis elektriciteten produceres på vedvarende energianlæg og meget betydelige, hvis elektriciteten som i dag i overvejende grad produceres på basis af fossile brændsler (se evt. kap. 4).

Elforbrugets variation

Elforbruget udviser store variationer såvel over døgnet som over året. Det største elforbrug på et år vil typisk indtræffe en vinterdag mellem kl. 17 og 18. På figur 5.3 ses elbelastningen for henholdsvis en vinterdag og en sommerdag (begge hverdage).

Sammenhæng mellem elforsyning og elforbrug

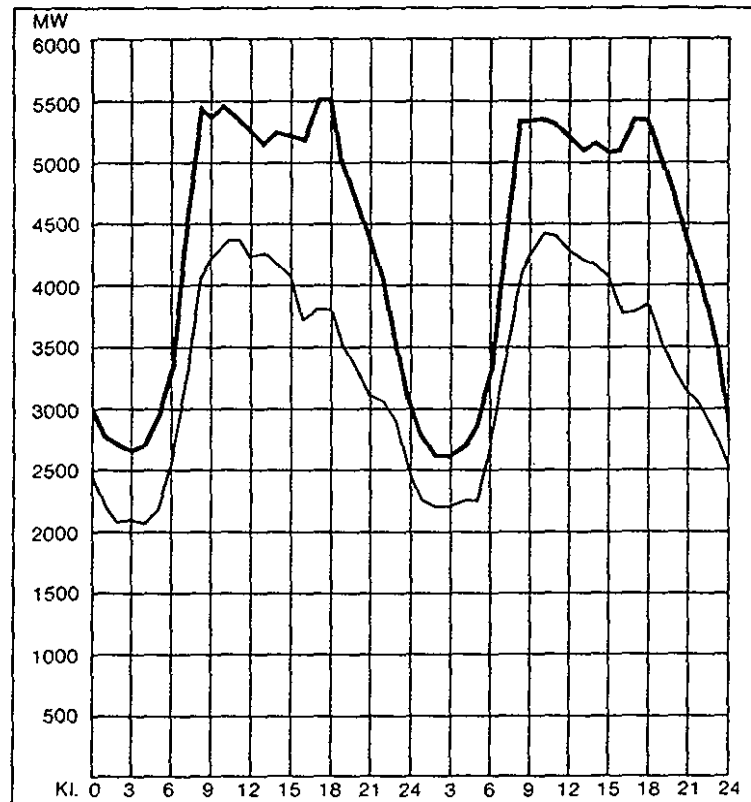
I det eksisterende elforsyningssystem følges elforbrug og elproduktion altid ad, forstået på den måde at elektriciteten produceres på stort set samme tidspunkt som den anvendes. Det varierende elforbrug stiller derfor store krav til forsyningssystemet. Man er nødt til at have en elproduktionskapacitet, der er lig det største forbrug plus en vis reservekapacitet. Det skal endvidere være muligt at forøge elproduktionen kraftigt, når spidslasten indtræffer. Disse krav bevirker, at en betydelig del af produktionskapaciteten ikke udnyttes i store dele af døgnet og året, og at man ikke altid kan køre anlæggene under optimale driftsbetingelser. Det er endvidere disse forhold, der i manges øjne er en hindring for en forøget udbygning med VE, idet VE-kildernes elproduktion ikke kan følge variationerne i forbruget. Man kan ligeledes ikke være sikker på, at vindkraften yder sin maksimale effekt på det tidspunkt, hvor der er behov for den.

Udligning af elbelastningen

En udligning af elbelastningskurven og udvikling af teknologier til lagring af elektriciteten vil kunne forbedre mulighederne for en forøget udbygning med vedvarende energianlæg. Ellagring omtales i afsnit 5.3. Elbelastningskurven kan udlignes ved at flytte en del af elforbruget fra spidslastperioder til perioder med mindre belastning eller ved at substituere elektriciteten med andre energiformer (f. eks. gas).

Substitution

En udligning af elbelastningskurven vil endvidere, med den nuværende opbygning af energisystemet, være medvirkende til at reducere emissionerne fra energisektoren, fordi elproduktionen i i spidslastperioder ofte forsynes fra mindre effektive værker, der som regel ikke opererer med samproduktion.



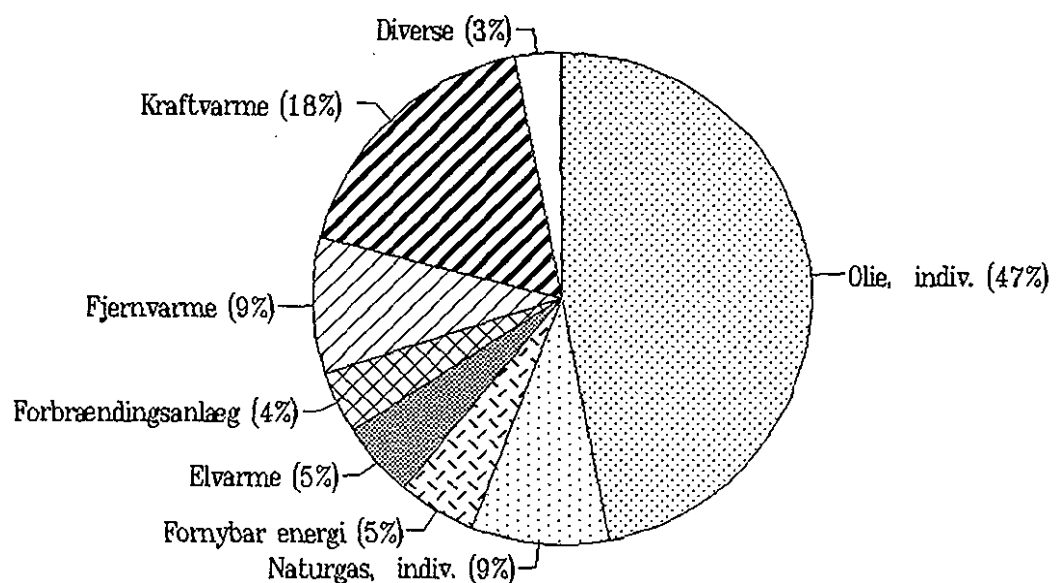
Figur 5.3

Belastningskurver for den danske elforsyning (fra ref. 5.2).

5.1.2 Varmeforbrug - varmemforsyning

Varmeforbrugets fordeling

Brutto-varmeforbrugets fordeling på de enkelte forsyningsformer er vist i figur 5.4. Figuren er optegnet på basis af oplysninger fra ref. 5.1. De anvendte tal er fra 1988, og er repræsentative for det nuværende varmeforbrug.



Figur 5.4

Brutto-varmeforbrugets fordeling på forskellige forsyningsformer.

Af figuren ses at knap halvdelen af varmemeforbruget i dag produceres på basis af olieprodukter (oliefyr m.m.), mens fjernvarme incl. kraftvarme dækker ca. en trediedel af forbruget (som brændsel i kraftvarmeanlæggene anvendes fortrinsvis kul, mens fjernvarmeanlæggene bruger naturgas, fuelolie, kul og biobrændsler). Ca. halvdelen af fjernvarmeforsyningen er baseret på kraftvarme.

Naturgas

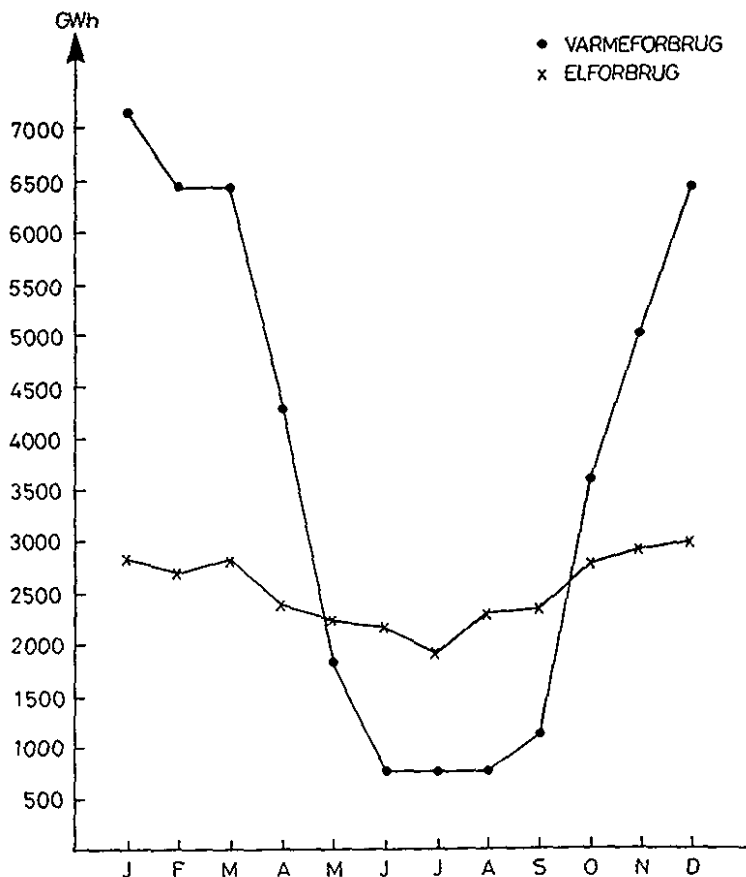
Naturgas dækker en forholdsvis lille del af varmemeforbruget, men hvis den nuværende energipolitik gennemføres vil naturgas fremover komme til at dække en større andel af varmemeforbruget. Naturgas anvendes i dag fortrinsvis i private gasfyr og på fjernvarmefærker, hvilket ikke er særligt hensigtsmæssigt, selvom naturgas er et mere miljøvenligt brændsel end olie. Ved i stedet at anvende gassen i små, decentrale kraftvarmefærker kan man opnå en bedre udnyttelse af gassens energikvalitet (se evt. afsnit 4.2.3) og desuden få et mere fleksibelt og mindre sårbart system.

Vedvarende og fornybare energikilder

Vedvarende energi (solvarme mm) dækker under 0,1 % af varmemeforsyningen. Fornybare energikilder (fortrinsvis halm og træflis) dækker ca. 4 % af opvarmningsbehovet og anvendes hovedsagelig i individuelle anlæg, gårdanlæg og fjernvarmeanlæg.

Varmemeforbrugets variation

Varmemeforbruget varierer ligesom elforbruget over døgnet og året. Figur 5.5 viser årsvariationerne i varmemeforbruget, angivet som middelværdier per måned (optegnet på basis af ref. 5.3 og et netto opvarmningsbehov i Danmark på 160 PJ). Til sammenligning af el- og varmemeforbruget viser figur 5.5 også årsvariationerne i elforbruget (fra ref. 5.15).



Figur 5.5
Årsvariation i varme- og elforbrug.

Af figuren ses, at varmebehovets årsvariation er væsentligt større end elforbrugets. Varmebehovet er derimod fordelt betydeligt jævner over døgnet.

Solvarme

Den store årsvariation af varmekonsumet, med det største forbrug i den del af året, hvor solindstrålingen er mindst, er uheldig for udnyttelsen af solvarme i Danmark. Hvis solvarmen skal dække en betydelig del af varmekonsumet hele året, er der behov for at lagre solenergien fra om sommeren til om vinteren i sæsonvarmelagre, og gennemføre massive varmebesparelser.

5.1.3 Samproduktion af el og varme.

Brændselsbesparelser

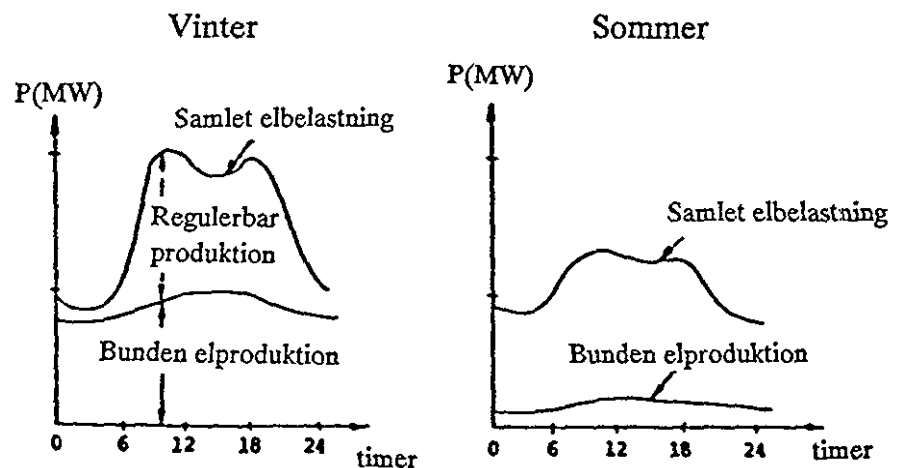
Som det fremgår af afsnit 4.2.3 vil det medføre store brændselsbesparelser at have størst mulig kraftvarmedækning af den del af varmebehovet, der dækkes af fossile og fornybare brændsler.

Samproduktion af el- og varme i stort omfang besværliggøres imidlertid af at el- og varmekonsumet varierer så forskelligt.

Bunden elproduktion

I figur 5.6 ses et eksempel på den bundne (kraftvarmebaserede) elproduktion om sommeren og om vinteren. Eksemplet er repræsentativt for den nuværende kraftvarmeudbygning. Det fremgår af figuren, at den bundne elproduktion er meget tæt på den minimale elbelastning om vinteren. På en kold vinternat kan man komme i den situation at der ikke er afsætning for elektriciteten (eloverløb). En forøget udbygning med vindmøller i det eksisterende energisystem kan forværre dette overløbsfænomen, fordi vindmøllerne også producerer strøm i lavlastperioderne.

Eloverløb



Figur 5.6

Bunden elproduktion i forhold til elbelastningen (fra ref. 5.4).

Dårlig brændselsudnyttelse

Om sommeren udgør den bundne elproduktionen, på grund af det minimale opvarmningsbehov, kun en lille del af den totale elproduktion. I denne periode produceres en stor del af elforbruget i dag derfor ved ren kondensationsdrift på kulfyrede kraftværker, med dårlig brændselsudnyttelse til følge.

Fleksibilitet

Eksemplet med eloverløb fra vindmøller i lavlastperioderne illustrerer, at der ikke uden problemer kan indpasses store bidrag fra vindkraft eller andre fluktuerende elproduktionsteknologier i det noget "stive" system, som udgøres af de eksisterende grundlastværker. Det er derfor af betydning at få udviklet et energisystem, som mere fleksibelt kan tilpasses det varierende behov for el og varme og dermed kan inkludere en større procentdel af vindkraft og andre VE-kilder.

5.2 Systembetragtninger i forhold til RT-initiativer.

Løsning af miljøproblemer

Det er fra flere sider (f.eks. ref. 5.5 og 5.6) blevet påpeget at de eksisterende miljøproblemer indenfor energisektoren skal løses ved en kraftig satsning på energibesparelser og ved at dække en væsentlig andel af energiforbruget ved hjælp af vedvarende energikilder (VE). Det resterende energiforbrug skal fortrinsvis dækkes af fornybare brændsler (FE).

Decentrale kraftvarmeværker

En oplagt mulighed for en effektiv anvendelse af de fornybare brændsler er ved samproduktion af el og varme på decentrale kraftvarmeværker. Disse decentrale værker kan desuden være medvirkende til at forøge energisystemets fleksibilitet og øge grundlaget for udbygning med vindmøller og andre vedvarende energikilder. De tre nævnte initiativer vil være vigtige elementer i en RT-strategi for energisektoren.

RT-initiativer

I dette afsnit foretages systembetragtninger for de ovenfor nævnte RT-initiativer:

- samproduktion af el og varme
- el/varmebesparelser
- øget udbygning med vedvarende og fornybare energikilder

Der foretages analyser af hvordan det pågældende RT-initiativ indvirker på det samlede energisystem og hvilke krav der evt. må stilles til systemet for at RT-initiativet kan gennemføres.

5.2.1 Udbygning med kraftvarme

Brændselsbesparelse

Ved samproduktion af el og varme på kraftvarmeværker kan man i forhold til elproduktion på et kulfyret kraftværk og varmelevering fra en fjernvarmecentral, ved samme el- og varmeproduktion, opnå en brændselsbesparelse på omkring 30% (ref. 5.16). Derved reduceres også emissionerne af SO₂, NO_x og CO₂ per produceret kWh væsentligt. Reduktionen vil afhænge af hvilke brændsler der anvendes.

Øget KV-udbygning

I de senere år er der sket en øget udbygning med kraftvarme i Danmark. Først og fremmest med store centrale værker. Kraftværkernes fjernvarmelevering svarer idag til ca. 20% af det totale opvarmningsbehov.

Igangsatte tiltag

De igangsatte tiltag (for udvidelse af eksisterende store kraftvarmeforsyningssystemer og udbygning med 450 MW decentrale kraftvarmeværker frem til 1995) giver en omtrentlig kraftvarme-

dækning på 40% af opvarmningsbehovet.

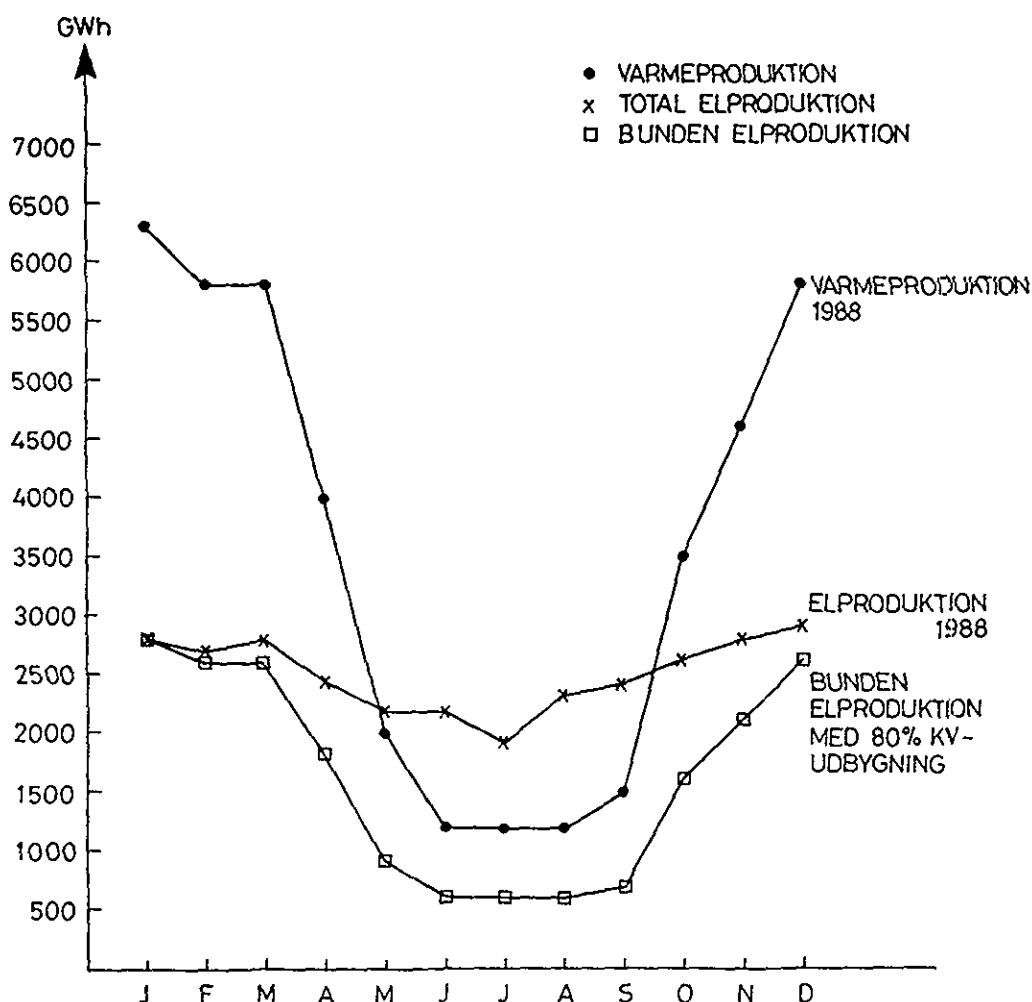
80% KV-dækning

Det er flere steder (f.eks. ref. 5.7) vurderet at op til 80% af varmemeforbruget i Danmark kan dækkes med fjernvarme fra forskellige former for kraftvarmeanlæg. Dette svarer til, at der anlægges fjernvarme i alle byer med over 200 indbyggere (inklusive områder, der i dag er udlagt til individuel naturgasforsyning).

En 80% kraftvarmedækning af varmebehovet vil inklusiv nettab svare til en varmeproduktion som vist på figur 5.7. Figuren viser desuden den kraftvarmebundne elproduktion, hvis man antager et forhold mellem el- og varmeproduktion (C_m -værdi) på 0.45. Til sammenligning vises endvidere den totale elproduktion. Et forhold mellem el og varmeproduktion på 0.45 er ikke urealistisk med de nuværende produktionsteknologier.

Udligning af døgnvariationer

En så stor grad af samproduktion som vist i figur 5.7 kræver, for at undgå eloverløb, at døgnvariationerne er udlignet, hvilket kan gøres via produktionssystemet ved anvendelse af varmelagre eller via forbrugssystemet ved udligning af elbelastningskurven.



Figur 5.7

Bunden elproduktions andel af elproduktionen med maksimal kraftudbygning (80%) og en C_m -værdi på 0.45

KV-dækning af elforbruget

Af figuren ses at stort set hele elforbruget i vintermånederne kan dækkes med den kraftvarmebaserede elproduktion. Om somme-

ren kan man til gengæld kun dække omkring en trediedel af elforbruget og resten må derfor produceres på kraftværker, der kun opererer med elproduktion eller på vedvarende energi anlæg. På årsbasis kan man med en kraftvarmeudbygning svarende til 80% af opvarmningsbehovet dække ca. 60% af elforbruget i Danmark.

Større samproduktion om sommeren

En større grad af samproduktion om sommeren kan opnås ved udvikling af teknologier, der med en høj udnyttelsesgrad af brændslet, kan producere en større elandel end det kan gøres på de nuværende kraftvarmeværker. Her er f. eks. brændselsceller en oplagt mulighed. En anden mulighed for forøget samproduktion i sommerhalvåret er at lagre den producerede varme i sæsonvarmelagre.

Resumé

Det foranstående viser, at det er muligt at producere en stor del af elforbruget i Danmark på anlæg der opererer med samproduktion. Dette kræver dog at en meget stor del af varmebehovet forsynes med kraftvarme, hvilket igen kræver at døgnvariativerne i el- og varmemeforbrug udlignes. Hvis hovedparten af elforbruget (også i sommermåneder) skal dækkes ved samproduktion, er der endvidere behov for fleksible energiforsyningssystemer, der giver mulighed for at variere forholdet mellem el- og varmeproduktionen indenfor et ret bredt område, uden at systemets virkningsgrad forringes væsentligt (f.eks. LOCUS-systemer). En anden mulighed er at udvikle effektive sæsonvarmelagre.

Fortrængning af VE

Ved vurdering af udbygningen med kraftvarme er det vigtigt at tage hensyn til, at kraftvarmen kan fortrænge andre og renere teknologier (specielt VE-teknologier) fra markedet. F.eks vil der i en situation med fuldt udbygget kraftvarme være elbunden varmeproduktion om sommeren, hvilket gør solvarmeanlæg mindre fordelagtige (både solfjernvarme og individuelle solvarmeanlæg), fordi de må konkurrere med "overskudsvarme" fra kraftvarmeværket.

Ovennævnte ulempe ved kraftvarmen gælder kun i den situation, hvor stort set al elproduktion foregår på kraftvarmeanlæg. Dækkes elforbruget om sommeren i højere grad af sol-, vind- og bølgekraft, ville solvarmen blive mere fordelagtig (fordi der ikke er "elbunden varmeproduktion").

Solceller

Til elproduktion i sommermånederne er solceller en interessant mulighed. De vil netop yde deres maksimale effekt på denne tid af året.

Grænse for KV-udbygning

Det er ikke umiddelbart gennemskueligt, hvor stor en udbygningsgrad med kraftvarme, der er den mest fordelagtige ud fra et miljømæssigt synspunkt. Ved etablering af kraftvarmeværker i mindre byer med forholdsvis spredt bebyggelse, kan det vise sig at energi- og materialeforbruget til etablering af fjernvarmeledninger mm er forholdvist stort i forhold til energiflowet i systemet. Endvidere kan nettabene, specielt i sommerhalvåret, være store i forhold til varmemeforbruget. Herved kan fordelene ved samproduktionen sættes over styr. Dette er specielt aktuelt hvis der samtidig gennemføres store varmebesparelser.

5.2.2 El- og varmebesparelser

Miljøeffekt af elbesparelser

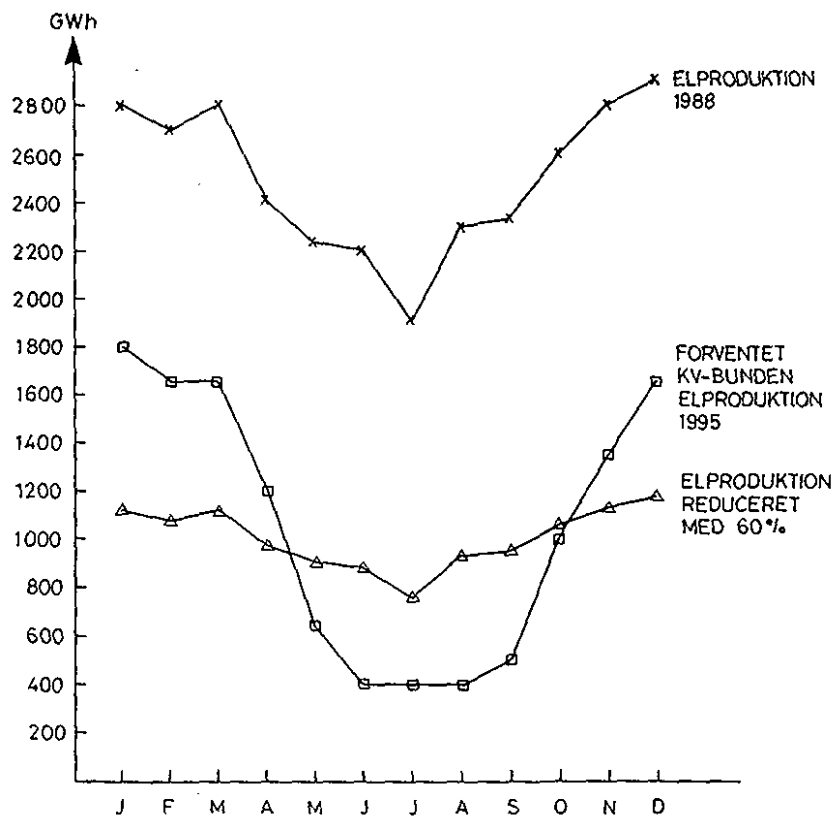
Miljøeffekten af elbesparelser afhænger af, hvordan elektriciteten produceres. Med dagens energisystem, hvor hovedparten af elektriciteten produceres på kulfyrede kraftværker, vil en halvering af elforbruget, betyde en væsentlig reduktion af emissionerne. Hvis elektriciteten derimod blev produceret af vindmøller eller andre VE-kilder, ville elbesparelser ikke have en tilsvarende effekt. Det er dog betydeligt mere realistisk at dække en væsentlig andel af energiforbruget med VE-kilder, hvis forbruget samtidig reduceres.

Muligheder for elbesparelser

I kapitel 3 opgøres mulighederne for elbesparelser i Danmark. Det påpeges, at det er teknisk muligt at reducere elforbruget med 60% ved at satse på udvikling af elbesparende udstyr indenfor alle sektorer i samfundet.

Elbesparelse og KV-udbygning

Med en elbesparelse på 60% vil den kraftvarmebundne elproduktion, svarende til den planlagte udbygning frem til 1995, overstige elforbruget om vinteren. Se figur 5.8.



Figur 5.8

Forventet kraftvarmebundnen elproduktion 1995 og elforbruget reduceret med 60%. Den forventede bundne elproduktion i 1995 er fra ref. 5.8.

El- og varmebesparelser

En væsentlig reduktion af det samlede energiforbrug i DK vil i midlertid også omfatte en reduktion af varmekonsumet. Hermed bliver den kraftvarmebundne elproduktion mindre, og der kan være mulighed for igen at få balance i regnskabet. Det ovenstående viser at det er vigtigt at få medregnet besparelser i planlægningen inden der vedtages en for omfattende udbygning med f. eks. kraftvarme. På længere sigt kan det vise sig, at der ikke er behov for så mange anlæg. Ved at inddrage besparelser i planlægningen kan store fejlinvesteringer undgås.

Undgå fejlinvesteringer

Varmebesparelser

Store varmebesparelser kan bevirke at varmekonsumet i mindre byer og spredt bebyggelse bliver så lille, at det ikke er fordelagtigt at etablere fjernvarme, kraftvarme eller solfjernvarme, hverken ud fra et energimæssigt eller et økonomisk synspunkt. Nettabene i transmissionssystemet kan f. eks. blive så store, at de udgør en væsentlig del af det samlede varmekonsum. Med hensyn til økonomien kan udvikling af billige transmissionssystemer medvirke til at opretholde grundlaget for kraftvarme eller solfjernvarme i byerne, selvom der indføres store varmebesparelser.

Tilsammen vil betydelige el- og varmebesparelser være en væsentlig forudsætning for at vi kan dække en stor del af vores energikonsum ved hjælp af vedvarende og fornybare energikilder.

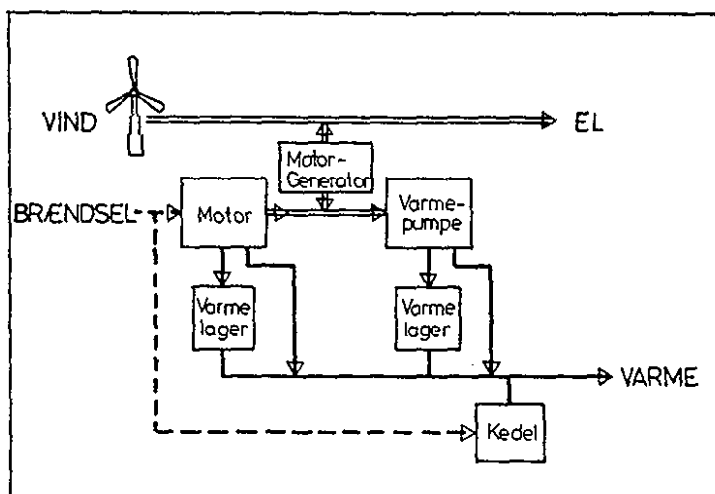
5.2.3 Forøget anvendelse af vedvarende og fornybare energikilder.

<i>Anvendelse af VE og FE idag</i>	I 1988 udgjorde energiproduktionen fra VE-kilder knap 1% af Danmarks energiforsyning. Specielt indenfor opvarmningsområdet er anvendelsen af den vedvarende energi meget begrænset, idet den dækker under 0.1% af varmekonsumet. De fornybare energikilder dækkede i 1988 omkring 4% af Danmarks energiforsyning. Potentialet for udbygning med VE og FE er imidlertid betydeligt større. Se evt. ref. 5.9.
<i>Potentialer</i>	Potentialet for elproducerende VE-teknologier er i Danmark primært baseret på vindkraft, bølgeenergi og solceller. Af varmeproducerende teknologier kan især solvarme (både passiv og aktiv) yde et væsentligt bidrag til varmekonsumet.
<i>Varierende forsyning fra VE</i>	Udnyttelsen af de vedvarende energikilder er imidlertid ikke uproblematisk fordi tidspunktet, hvor energien er til rådighed ikke nødvendigvis falder sammen med det tidspunkt, hvor der er behov for energien. Dette gælder f. eks. for solvarme (stort potentiale om sommeren og stort forbrug om vinteren) samt vind- og bølgekraft (meget svingende forsyning). Solceller har den fordel, at de leverer el om dagen, hvor behovet er størst og ikke om natten, hvor behovet er lille. Dermed bidrager solceller ikke til problemet med eloverskud. Elforsyningen fra solcellerne afhænger imidlertid af solintensiteten, så den udviser store variationer såvel over døgnet som over året.
<i>System-afhængighed</i>	Det ovenstående viser, at potentialerne for udnyttelse af de vedvarende energikilder er systemafhængige. Hvor stor en andel af VE-energi, der kan indpasses, afhænger i høj grad af muligheden for at indregulere den varierende energiproduktion i energisystemet. Afgørende er det, om der findes lagringsmuligheder for el og varme i systemet, og/eller at energiproduktionen fra de øvrige anlæg kan op- og nedreguleres hurtigt og uden store tab.
<i>Decentrale kraftværker</i>	I forbindelse med udnyttelsen af fornybare og vedvarende energikilder kan decentrale kraftvarmeværker (og kraftværker) byde på en række fordele. Energikilder som halm, træflis, affald og biogas forekommer lokalt, og der er store omkostninger og et vist energikonsum forbundet med at transportere dem til de store centrale kraft- eller kraftvarmeværker. Endvidere kan de decentrale værker ofte mere fleksibelt tilpasses de fluktuerende energikilder som fx vindenergi.

En decentral anlægstype, der giver mulighed for at indpasse et relativt stort bidrag fra vindkraft, er et LOCUS-system. I figur 5.9 er vist en principskitse for et sådant anlæg.

Når der er et stort varmebehov og et mindre elbehov, kan en del af elproduktionen fra vindmøllerne drive varmepumpen. Herved reduceres problemet med eloverløb. Når det omvendte er tilfældet kan møllernes elproduktion suppleres med el fra generatoren. På den måde kan LOCUS-anlægget dække et stort variationsområde for forholdet mellem el- og varmeproduktion. Et elsystem med mange LOCUS-anlæg beregnes at kunne indpasse mere end 30% el fra vindmøller (ref. 5.10)

I forbindelse med et LOCUS-anlæg kan det være fordelagtigt at etablere solvarmeanlæg. Et sådant solvarmeanlæg skal kunne dække varmebehovet i den del af året (om sommeren), hvor der ikke er problemer med eloverløb. I denne situation er det mere hensigtsmæssigt at bruge el fra vindmøllen til at substituere elproduktion på et kulfyret kraftværk fremfor at anvende den til at trække varmepumpen. Hele varmebehovet kan om sommeren principielt dækkes ved hjælp af solvarme.



Figur 5.9
Principskitse for et LOCUS-anlæg.

Brændselsceller

En anden anlægstype der er velegnet til decentral produktion af kraft- og kraftvarme er brændselscelleanlæg. Brændselsceller forurener og støjer ikke i lokalmiljøet og anlæggene er nemme at regulere.

El-biler

I et fremtidigt energisystem, hvor elproduktionen fortrinsvis er baseret på vedvarende energikilder, kan elbiler få en betydelig større udbredelse end de har i dag. Elbiler vil i dette tilfælde udgøre et virkeligt miljøvenligt transportmiddel, der ikke vil give anledning til emissioner, hverken lokalt eller globalt. Dette vil dog kræve at der udvikles betydeligt bedre batterier til ellagring end de blybatterier, der anvendes i dag. Her tænkes specielt på at reducere evt. eller helst undgå anvendelse af tungmetaller i batterier og at forøge batteriernes energiintensitet.

5.3 Fleksibilitet af energisystemet

Fleksibilitet

Det altgørende princip for opbygning af et miljøvenligt energisystem på længere sigt vil være fleksibilitet. En stor fleksibilitet kan opnås ved at satse på mindre decentrale energiforsyningsanlæg og en bred vifte af fornybare og vedvarende energikilder samt ved at indbygge muligheder for el- og varmelagring i systemet. Lagringsmulighederne reducerer bindingerne mellem forsyning og forbrug og gør det dermed muligt at basere en væsentlig andel af energiproduktionen på fluktuerende energikilder (VE-kilder).

Indhold af afsnit

I det følgende vil vi se på mulighederne for at lagre el og varme. Vi vil endvidere se på et energisystem baseret på brint som energibærer. Dette system indeholder en metode til ellagring, og kan endvidere medvirke til at løse miljøproblemerne indenfor transportområdet.

5.3.1 Varmelagre

Eksisterende varmelagre

De varmelagre, der i dag anvendes i Danmark, er alle korttidsvarmelagre, beregnet til belastningsudligning inden for døgnet eller indenfor nogle få døgn. Som eksempler herpå kan nævnes varmtvandsbeholdere i enfamiliehuse i forbindelse med oliefyrings- eller solvarmeanlæg. I større skala er der i forbindelse med flere fjernvarme- og kraftvarmeværker etableret lagertanke for varmt vand. Disse varmelagre giver en større frihed i tilrettelæggelsen af el- og varmeproduktionen. I nogle tilfælde kan det f. eks. være en fordel kun at køre kraftvarmeværket i en del af døgnets timer (hvor elbelastningen er størst), og i den resterende del af døgnet trække varmen fra lageret.

Sæsonvarmelagre

Der findes idag verden over adskillige demonstrationsanlæg for sæsonvarmelagre, der er dog stadig et stort behov for forskning og udvikling indenfor dette område. Sæsonvarmelagring er en af forudsætningerne for, at solfjernvarme kan få en betydelig større udbredelse i Danmark, end den har i dag. Med sæsonvarmelagre er det muligt at lagre varmen fra om sommeren, hvor solindfaldet er stort og varmekonsumet lille til om vinteren, hvor solindfaldet er lille og forbruget stort (danske forhold).

Lagring i undergrunden

De mest oplagte metoder til etablering af store sæsonvarmelagre i Danmark er at lagre varmen i undergrunden i jord- eller vandreservoirer.

Grundvandsreservoirer

En af de mest lovende metoder til sæsonvarmelagring i Danmark er, ud fra et økonomisk synspunkt, at lagre varmen i grundvandsreservoirer eller aquiferer (ref. 5.11). Danmark er næsten overalt dækket af istidsaflejringer med porøse vandfyldte lag, som er velegnede til dette formål. Ved denne form for varmelagring står det opvarmede vand i direkte forbindelse med det omkringliggende grundvand, og man skal derfor ved placering af lageret sikre sig, at man ikke kommer i konflikt med drikkevandsforsyningen. Endvidere må enhver form for anvendelse af kemikalier til vandbehandling (vandbehandling kan være ønskelig for at undgå udfældning af kalk i de tekniske installationer) frarådes.

Borehulslagre

Andre metoder til varmelagring i jord- og vandreservoirer kræver betydelig større indgreb i undergrunden i form af nedlægning af rørslinger (varmelagre i jord f. eks borehulslagre) eller ved udgravning af vandbassiner (f. eks damvarmelagre). Der vil endvi-

Damvarmelagre

dere ofte være behov for isolering af lageret for at undgå for store varmetab. Disse lagringsteknikker er dermed forbundet med betydelige anlægsomkostninger. Af miljømæssige hensyn må man foretrække at anvende rent vand som lagermedium i borehuls- og damvarmelagre, da der ellers kan forekomme forurening af grundvandet ved lækager.

Renere teknologivurdering

Varmelagring kan generelt anses for en ren teknologi, der ikke giver anledning til nogle emissioner i driftsfasen. Tværtimod kan emissioner undgås ved at lagre solvarme eller tidligere produceret varme, fremfor at producere varme ved anvendelse af brændsler påny. Der vil dog altid være et vist tab fra et varmelager (10-40% afhængig lagerform), og man kan derfor sige, at lagring af varme koster ekstra emissioner, svarende til den merproduktion, der er nødvendig for at opfylde et givet behov ved brug af varmelageret. Emissionerne vil afhænge af, hvordan den lagrede energi er produceret. Hvis den er produceret på basis af vedvarende energi, som f. eks. solvarme vil der ikke være tale om nogle ekstra emissioner. Hvis den lagrede energi derimod er produceret på basis af fossile energikilder, må der foretages en afvejning af, om det bedst kan betale sig at lagre energien eller at producere den påny, når behovet opstår.

Andre miljømæssige forhold kan være forbundet med varmelagring afhængig af den anvendte lagringsmetode. En gennemgang af forskellige metoder til varmelagring findes i ref. 5.11.

5.3.2 Ellagre

Ellagring idag

Den eneste form for ellagring, der opereres med i det danske elforsyningssystem idag, er i forbindelse med en udvekslingsaftale med Norge og Sverige, hvor Danmark i spidslastsituationen har mulighed for at trække på effekt fra de norske og svenske vandkraftmagasiner mod at levere elektriciteten tilbage om natten.

Ellagring foregår endvidere i lille skala i forbindelse med elbiler og i nødforsyningssystemer f. eks. på hospitaler. Til disse anvendelser lagres elektriciteten i blybatterier.

Korttidslagre

I forbindelse med ellagring er interessen rettet mod korttidslagre, der kan gemme elektricitet produceret i lavlastperioder til perioder med spidslast og endvidere kan udjævne elproduktionen fra fluktuerende energikilder.

Pumpekraftværker og batterier

Fuldt udviklede teknologier til ellagring er pumpekraftværker og batterier. Det anses dog ikke for muligt at indpasse mere end nogle få pumpekraftværker i Danmark og batterier er på nuværende tidspunkt ikke en realistisk løsning til ellagring i stor skala (ref. 5.11). Hvis batterier i større udstrækning skal anvendes til ellagring i forbindelse med elproduktion og elbaseret transport er der behov for at udvikle batterityper med en større energiintensitet til en lavere pris. Flere typer af sådanne batterier er idag under udvikling f. eks. lithiumbatterier.

Renere teknologivurdering

Ellagring må ligesom varmelagring generelt anses for en ren teknologi, idet der ikke udsendes emissioner fra driftsfasen. For at anvende en given elmængde fra lageret, vil der dog være behov for en vis merproduktion af elektricitet, idet der altid er et tab i forbindelse med lagring. Denne merproduktion vil give anledning til en forøget mængde af emissioner afhængig af, hvordan den

lagrede elektricitet er produceret. Hvis den er produceret af VE-teknologier som f. eks. vind- og vandkraft vil der ikke være tale om ekstra emissioner.

Miljøkonflikter

Der kan være andre miljøproblemer i forbindelse med selve lagringsmetoden. Pumpekraftværker kræver f. eks. store vandmagasiner og etablering af sådanne anlæg i Danmark vil sandsynligvis komme i konflikt med planlægnings- og fredningslovgivningen. Ved lagring af elektricitet i batterier er der miljøproblemer med de materialer der anvendes til selve batteriet. I de batterityper, der anvendes i dag er det specielt tungmetaller, som bly og kviksølv, der giver anledning til bekymring. Lithiumbatteriet, som der idag forskes meget i, indeholder imidlertid også særdeles giftige stoffer. Lithium (anvendes som katode) reagerer eksplosivt i forbindelse med vand på linie med natrium og har ved dyreforsøg vist sig at give fosterskader. Et andet stof vanadin (anvendes ofte som anode) er kræftfremkaldende ved indånding i dampform. Mange af de elektrolytter, der i dag anvendes i forskningslaboratorierne indeholder endvidere arsen.

Lithiumbatterier

Gennemgang af forskellige metoder til ellagring findes i ref. 5.11.

5.3.3 Et energisystem med brint som "energibærer".

Brint som energibærer

I et energisystem baseret på brint som energibærer, er brint ikke en primær energikilde, men virker, på tilsvarende måde som f. eks. el, som et mellemled mellem de primære energikilder og de forskellige slutanvendelser for energi.

Anvendelse af brint

Brint kan i teorien erstatte fossile brændsler i alle de energianvendelser vi kender i dag. En af de oplagte fordele ved at anvende brint er, at det eneste restprodukt ved forbrændingen er vand. Brint er således et yderst miljøvenligt brændsel.

Produktion af brint

Brint kan produceres fra vand med overskudsproduktion fra elproducerende anlæg (elektrolyse). Den producerede brint kan oplagres og anvendes til elproduktion. På denne måde fås en metode til lagring af elektricitet.

Anvendelse i brændselsceller

Elproduktion fra brint kan ske med stor effektivitet i brændselsceller. Her produceres el fra brint og ilt ved en direkte elektrokemisk proces. Med brændselsceller regnes der med at kunne opnå elvirkningsgrader på 60-70% i løbet af de næste 10-20 år. Det er endvidere muligt at udnytte varmeafgivelse fra brændselscellerne til fjernvarme, hvorved den samlede virkningsgrad kan komme over 90%. Brændselscellerne kan foruden brint anvende biogas, naturgas og andre brintrige gasser som brændsel, hvilket er medvirkende til at gøre systemet meget fleksibelt.

Drivmiddel i transportsektoren

Brinten kan foruden til produktion af el og varme også anvendes som drivmiddel i transportsektoren. Brint er et særdeles effektivt brændsel. I bilmotorer spares der fra 25-50%, mest i bykørsel, i forhold til fossile brændsler (ref. 5.12). Brint har dog den ulempe, at den for samme energiindhold, i flydende form fylder næsten 4 gange mere end benzin. Denne ulempe reduceres dog noget når den højere anvendelses-effektivitet tages i betragtning.

Risici ved anvendelse

Ved dimensionering af lagrings- og transportsystemer til brinten, må der på grund af brints evne til at lække ud af beholdere o.lign., udvises betydelig påpasselighed. Der er dog intet der tyder

på, at der er større risiko forbundet med brint end f.eks. naturgas. Brint er brandfarligt i et bredere koncentrationsområde end naturgas og kan danne knaldgas med ilt. Til gengæld er brint ugiftigt og mindre farligt ved brandulykker end fossile brændsler, på grund af en højere antændelsestemperatur og en betydelig svagere flammestråling.

Lagring af brint

Der findes allerede i dag systemer til både lagring og transport af brint. Lagring af flydende brint i store vacuumisolerede beholdere er f. eks. rutine i forbindelse med rumprojekter. Brint kan endvidere opbevares i gasform i trykbeholdere og ved absorption i metaller og metallegeringer. Den sidstnævnte opbevaringsmetode resulterer i den største energitæthed. Store brintlagre kan oprettes i underjordiske magasiner, som f. eks. udskyllede salthorste eller tømte naturgasreservoirer.

Transport af brint

Transport og fordeling af brint kan foregå i højtryksbeholdere, i flydende form i isolerede termobeholdere eller i rørsystemer (pipe-lines). Sådanne rørsystemer har været i operation i en årrække i f.eks. Texas og Frankrig.

Forsøg med brintsystemer

Indledende forsøg med brintsystemer er startet forskellige steder i verden. Disse forsøg omfatter produktion af brint fra vedvarende energianlæg (vindmøller, vandkraft), transport af brint og anvendelse af brint til kraftvarmeproduktion og transportformål (ref. 5.13). Brintsystemer er forsat på et begyndende udviklingsstade, og der er et stort behov for forskning og udvikling indenfor dette område, både med hensyn til lagring og transport af brint og med hensyn til anvendelse til el- og varmeproduktion samt indenfor transportsektoren.

Mere om brintsystemer kan f. eks. findes i ref. 5.12 og 5.14.

5.4 Specielle behov for teknologisk udvikling

Af dette kapitel om systembetragtninger fremgår det, at hvis der på længere sigt skal opbygges et energisystem, som i udstrakt grad bygger på anvendelse af vedvarende og fornybare energikilder, og hvor der opereres med en udstrakt grad af samproduktion, så er der behov for forskning og udvikling indenfor en lang række områder. Her resumeres de væsentligste områder:

- udvikling af effektive og billige sæsonvarmelagre
- metoder til lagring af elektricitet (herunder batterier)
- brintsystemer, lagrings- og transportsystemer til brint
- udligning af elbelastningskurven (herunder substitution)
- udvikling af og udbygning med fleksible anlægstyper (herunder regulerings- og styringssystemer)
- udvikling af billige og effektive fjernvarmenet
- forsat udvikling af brændselsceller

- udvikling af systemer til samproduktion, hvor Cm-værdien kan variere inden for et bredt område med en høj virkningsgrad (herunder LOCUS-anlæg).

Ved vurdering af udbygning med kraftvarmeanlæg er der behov for at foretage følgende tiltag:

- inddragelse af mulighederne for el- og varmebesparelser i udbygningsplanerne for kraftvarme
- vurdering af udbygning med kraftvarme i mindre byer ud fra et energi- og miljøsynspunkt (ved anvendelse af livsførløbsanalyser)
- vurdere kraftvarmeudbygning i forhold til fortrængning af de vedvarende energikilder (f.eks solvarme)

6. Livsforløbsanalyser

I kapitlerne 3, 4 og 5 er energiområdet blevet gennemgået ret traditionelt. Vi har behandlet forbrugsteknologier og forsynings-teknologier, og vi har tilføjet et afsnit om koblingen mellem forbrugs- og forsyningssiden. Vægten har været lagt på selve driftsituationen, altså den for os nyttige anvendelse af teknologierne. Af og til har vi antydnet, at der også kunne være interessante problemstillinger i.f.t. renere teknologibegrebet ved fremstilling og afvikling af energiteknologierne. Desuden har vi på samme måde antydnet, at det kemiske og biologiske arbejdsmiljø ved fremstilling, drift og afvikling af energiteknologierne kan være risikofyldt i visse tilfælde. For at inddrage ovennævnte forhold i vurderingen af renere energiteknologier er det nødvendigt at behandle hele livsforløbet for teknologierne, både m.h.t. energiforbrug, ydre miljø- og arbejdsmiljøproblemer.

Afprøve LFA som metode

I dette kapitel afprøver vi livsforløbsanalyser som metode til at vurdere renere energiteknologier. Livsforløbsanalyser er en forholdsvis ny analysemetode, og har, så vidt vi ved, ikke tidligere været udført for energiteknologier i Danmark.

Mange usikkerheder

Afprøvning af en ny analysemetode indebærer at man må arbejde med nogle usikkerheder om afgrænsning, detaljering etc. I dette kapitel har de forskellige livsforløbsanalyser forskellige detaljeringsgrader, angrebsvinkler m.v. Vi vil udfra de gennemførte analyser vurdere, om metoden er generelt anvendelig.

Energiindhold i teknologier

Det akkumulerede energiforbrug i materialer

Et af de grundlæggende forhold, som livsforløbsanalyserne skal kunne klarlægge, er, hvorvidt energiforbruget til fremstilling og sammenføjning af materialer kan have en afgørende betydning i forhold til energiforbrug eller -produktion i driftfasen. Energiforbruget til fremstilling af materialer er materialespecifikt, og derfor samlet i et afsnit for sig. I afsnit 6.1 er det kort gennemgået, hvordan vores data for det akkumulerede energiforbrug i materialer er beregnet.

Udvalgte teknologier

Udvalgte energiteknologier

Vi har udvalgt fem energiforbrugende teknologier og fem energi-producerende teknologier. Disse er udvalgt så de repræsenterer et varieret udsnit af energiteknologier.

Forbrugsteknologier

Forbrugsteknologierne bliver ikke analyseret alene, men altid i forhold til den almindeligt anvendte teknologi. F.eks. analyseres en kompakt lysstoflampe i sammenligning med den almindeligt anvendte glødepære. De analyserede forbrugsteknologier er altså almindeligvis energibesparende foranstaltninger eller apparater, som sammenlignes med den almindeligt anvendte teknologi.

El- og varmemeforbrugende teknologier

De udvalgte energiforbrugende teknologier er tre elforbrugende og to varmemeforbrugsteknologier:

- Lavenergipærer (afsnit 6.2)
- Køleskab (afsnit 6.3)
- Elgryder (afsnit 6.4)
- Passiv solvarme (afsnit 6.5)
- Bygningsisolering (afsnit 6.6)

De *energiproducerende teknologier* er valgt blandt de el- og/eller varmeproducerende teknologier, da produktionen af disse to energiformer repræsenterer de dominerende brændselsforbrug i Danmark i dag. Vi har valgt tre *elproducerende* teknologier, hvoraf de to er baseret på vedvarende energikilder, samt to *varmeproducerende* teknologier, hvor den ene er baseret på VE. De øvrige to energiproducerede teknologier er traditionelle fossile energiforsyningsteknologier:

- Vindmøller (afsnit 6.7)
- Solceller (afsnit 6.8)
- Kulfyret kraftværk (afsnit 6.9)
- Oliefyret varmeanlæg (afsnit 6.10)
- Aktiv solvarme (afsnit 6.11)

Checkliste

Metoden til gennemførsel af livsforløbsanalyserne er beskrevet i kapitel 2. Her vil vi blot resumere checklisten med de punkter, vi har forsøgt at få med i analyserne:

Fremstilling

- Materialestrømme
- Energiforhold
- Transport
- Emissioner og miljøeffekter
- Arbejds miljø

Drift

- Energi- og ressourceforbrug
- Transport
- Emissioner og miljøeffekter
- Arbejds miljø
- Levetid

Afvikling

- Energi- og ressourceforbrug
- Transport
- Genanvendelighed
- Emissioner og miljøeffekter
- Arbejds miljø

Samlet analyse

- Energifaktor
- Fossil energifaktor
- Miljømæssig vurdering
- Renere teknologi

6.1 Energiindhold i materialer.

Akkumulerede energiforbrug

Dette afsnit indeholder et forsøg på at bestemme det akkumulerede specifikke energiforbrug (i kWh per kg), som anvendes til fremstilling af et givet materiale, fra råstofudvinding til levering hos forbruger. Med udgangspunkt i ref. 6.1.1 er der udarbejdet en materialeliste, hvori det specifikke energiindhold angives for de materialer, der er anvendt i livsforløbsanalyserne, der følger i afsnit 6.2 - 6.11.

Ældre data

Da den anvendte reference er fra 1979, kan det ikke udelukkes at der i de forløbne år er sket ændringer i energiforbruget til fremstilling af materialerne. Ændringerne må forventes at være forløbet i retning af et lavere energiforbrug per produceret materialemængde, som følge af de generelle effektiviseringstendenser indenfor industrien. Dette er forsøgt underbygget ved at fremskaffe nye tal for enkelte af de materialer, som er meget anvendt i livsforløbsanalyserne.

6.1.1 Metodebeskrivelse

Beregningsmetode

Den i ref. 6.1.1 anvendte beregningsmetode beskrives kort i det følgende.

Det akkumulerede specifikke energiforbrug (ASF) til materialefremstilling beregnes af følgende udtryk :

$$ASF = F/m \text{ (kWh/kg)}$$

hvor F er det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af en given materialemængde i kWh og m er massen af det fremstillede materiale i kg.

I energiforbruget til materialefremstillingen medregnes:

- energiforbrug til selve produktionsprocessen
- energiforbrug til opvarmning af lokaler
- energiforbrug til brydning og transport af råstoffer
- energiforbrug til sikring af miljø
- energiforbrug til distribution af det færdige produkt

Endvidere afskrives energiindholdet i produktionsudstyret over produktionens energiforbrug.

Omregnes til primær energi

Alle energiforbrug er i reference 6.1.1 omregnet til forbrug af primære energikilder, hovedsagelig kul og olieprodukter. Ved opstilling af materialelisten er anvendt de samme konverteringsfaktorer som i referencen. Der er f.eks. for elforsyning anvendt en konverteringseffektivitet på 34% (repræsentativt for det danske elforsyningssystem i 1978) regnet fra indfyret brændsel til forbrugers stikkontakt. Ved beregning af denne effektivitet er energiforbrug til brydning og transport af råstoffer samt elværkernes egetforbrug ikke medregnet. Den i referencen anvendte effektivitet kan dermed ikke umiddelbart sammenlignes med den, der ellers anvendes i livsforløbsanalyserne.

Kul som marginal ressource

En del af materialeproduktionen foregår i udlandet, og der kan derfor være tale om anvendelse af andre primære energikilder end kul og olieprodukter (som f.eks. vandkraft). For sammenlignelighedens skyld og med den baggrund, at kul på globalt plan kan

betragtes som den marginale energiressource (jævnfør afsnit 2.4), er forbruget af disse energikilder omregnet til kulækvivalenter. Ved denne omregning har vi valgt at anvende den ovenfor nævnte konverteringseffektivitet på 34%.

For nærmere beskrivelse af de anvendte beregningsmetoder og konverteringsfaktorer henvises til reference 6.1.1.

6.1.2 Effektivitetsforbedringer

Nyere oplysninger indhentet

For at undersøge om materialefremstilling idag er forbundet med et væsentligt anderledes energiforbrug end på det tidspunkt, der behandles i ref. 6.1.1 (i midten af halvtjerdserne), har vi indhentet oplysninger om enkelte store virksomheders energiforbrug til fremstilling af materialer. Virksomhederne er udvalgt så de dækker en stor del af det materiale, der anvendes i livsforløbsanalyserne. Virksomhedernes energiforbrug til materialefremstilling er sammenlignet med de tilsvarende oplysninger i ref. 6.1.1 og størrelsesordenen af de eventuelle effektivitetsforbedringer er beregnet.

Der er indhentet oplysninger for følgende materialer:

Tegl

Tegl

Teglværkslaboratoriet indhenter årligt oplysninger, vedrørende teglfremstillingens energiforbrug fra ca. halvdelen af de danske teglværker. Da stort set al den tegl, der anvendes i Danmark produceres indenlands, må teglværkslaboratoriets oplysninger antages at være repræsentative (ref. 6.1.3). For teglfremstilling er fundet en effektivitetsforbedring på ca. 20%.

Beton

Beton

Energiforbruget til fremstilling af uafbundet beton (færdigbeton) afhænger hovedsagelig af cementens energiindhold, hvorfor cementfremstillingens effektivitetsforbedring anvendes. Oplysninger fra ref. 6.1.7 giver en effektivitetsforbedring for cementfremstilling (og beton) på 20%.

Stål

Stål

Det Danske Stålvalseværk (ref. 6.1.4) har opgivet deres samlede energiforbrug, samt produktionsmængden af valset stål. Heraf kan det aktuelle specifikke energiforbrug beregnes. Denne værdi bruges til beregning af effektivitetsforbedringen for stålfremstilling i Danmark. Vi antager endvidere, at samme effektivitetsforbedring er opnået i de lande vi importerer fra. Energiforbruget til stålfremstilling afhænger i høj grad af hvor stor en skrotandel, der anvendes i produktionen, idet energiforbruget til genbrug af stål er ca. halvt så stort, som når stålet fremstilles af råmateriale jernmalm. Da skrotandelen kan variere en del er der en vis usikkerhed forbundet med beregningen af energiforbruget. For stål er fundet en effektivitetsforbedring på 30%.

Aluminium

Aluminium

Norsk Hydro har opgivet det specifikke energiindhold i aluminium. Energiindholdet er opgivet ved en skrotandel på ca. 15%, hvilket er 10% lavere end den skrotandel, der anvendes i ref. 6.1.1. Skrotandelen har som for stålfremstilling stor betydning for det anvendte energiforbrug. For aluminiumsfremstilling er energiforbruget ved genbrug kun 1/25 af, hvad det er ved fremstilling fra råmateriale bauxit (ref. 6.1.14). Med en større skrotandel vil

energiforbruget til fremstillingen blive reduceret væsentligt. Norsk Hydro anvender energikilden vandkraft, som er omregnet til kulækvivalenter. For aluminiumsfremstilling er fundet en effektivitetsforbedring på 30%.

Mineraluld

Mineraluldsisolering

Virksomheden Rockwool har oplyst, at det i (ref. 6.1.1) angivne energiindhold er for højt, men ønsker ikke at oplyse hvor meget mindre, det er (ref. 6.1.5). Der er derfor ikke regnet med nogen effektivitetsforbedring.

De fundne effektivitetsforbedringer fremgår af figur 6.1.1. Disse effektivitetsforbedringer er, for de pågældende materialer, anvendt til fremskrivning af tabelværdier for det specifikke energiindhold fra ref. 6.1.1. De fremskrevne værdier fremgår af figur 6.1.2 i næste afsnit.

Materiale	Effektivitetsforbedring (%)
Aluminium	30
Beton	20
Stål	30
Tegl	20
Mineraluldsisolering	-

Figur 6.1.1

Effektivitetsforbedringer i materialeproduktionen.

6.1.3 Forarbejdningstillæg

Forarbejdede materialer

I mange produkter er de anvendte materialer forarbejdede i større eller mindre grad inden anvendelsen, hvilket kan kamuflere betydelige energiforbrug (f.eks ved stål anvendt til pumper og kompressorer). Derfor har vi på baggrund af oplysninger i ref. 6.1.6 indført et forarbejdningstillæg. Referencen omhandler energiforbruget til fremstilling af industrielt maskinel af stål, elektriske komponenter af aluminium eller kobber, samt husholdningsapparater af aluminium. Da referencen er forholdsvis gammel (ca. 10 år), har vi valgt at fremskrive det angivne forarbejdningstillæg med en effektivitetsforbedring 30%, svarende til den vi har fundet for stål- og aluminiumsindustrien iøvrigt. Vi har fundet frem til følgende tillæg for højt forarbejdede materialer:

Forarbejdningstillæg = 6 kWh/kg

Når vi i livsforløbsanalyserne vurderer, at et materiale er højt forarbejdet anvendes en værdi for energiindholdet, hvori dette forarbejdningstillæg er inkluderet.

6.1.4 Materialelisten

Materialeleværdier

Dette afsnit indeholder de materialeleværdier, der anvendes i de følgende livsforløbsanalyser. Figur 6.1.2 angiver energiindholdet i de materialer, hvor vi har korrigeret for effektivitetsforbedringer i industrien og/eller indregnet et forarbejdningsstillæg. At forarbejdningsstillæg er indregnet er angivet i parentes med (forarb.).

Figur 6.1.3 indeholder værdier for energiindholdet direkte overført fra ref. 6.1.1. Begge figurer indeholder endvidere vægtfylden for de nævnte materialer.

Materiale	Vægtfylde (kg/m ³)	ASF-89 (kWh/kg)
Aluminium	2700 (*8)	46
Aluminium (forarb.)	-	52
Beton	-	1,9
Kobber (forarb.)	-	26
Stål	7900 (*8)	7,0
Stål (forarb.)	-	13
Tegl	-	0,9

(*8) står for ref. 6.1.8

Figur 6.1.2

Vægtfylde og energiindhold af materialer korrigeret for effektivitetsforbedringer. For nogle materialer er energiindholdet inklusiv forarbejdningsstillæg angivet.

Materiale	Vægtfylde (kg/m ³)	ASF-79 (kWh/kg)
Glas (enkelt lags)	2500 (*8)	5,2
Glas (2-,3-lags)	-	7,0
Glasfiber	-	7,0
Gummi (syntetisk)	1100 (*8)	18
Jern (støbt)	-	7,0
Kobber	-	20
Lecca nødder	-	0,9
Maling m.m.	-	7,0
Messing	-	20
Mineraluld	30 (*5)	5,3
Mørtel	-	1,9
Nylon	-	14
Pap	600 (*10)	6,5
Plast	1200 (*10)	20
Polystyren	-	30
Polyurethan	40 (*9)	19
Silicone	-	8,0
Træ	700 (*10)	1,6

(*5) står for ref. 6.1.5, (*8) står for ref. 6.1.8, (*9) står for ref 6.1.9 og (*10) står for ref 6.1.10.

Figur 6.1.3

Vægtfylde og energiindhold af materialer (energiindholdet er direkte overført fra ref. 6.1.1).

Stål

Den angivne værdi for energiindholdet i stål anvendes i livsforløbsanalyserne også for støbejern. Værdien for stål med forarbejdningstillæg inkluderet anvendes for galvaniseret og svejst stål.

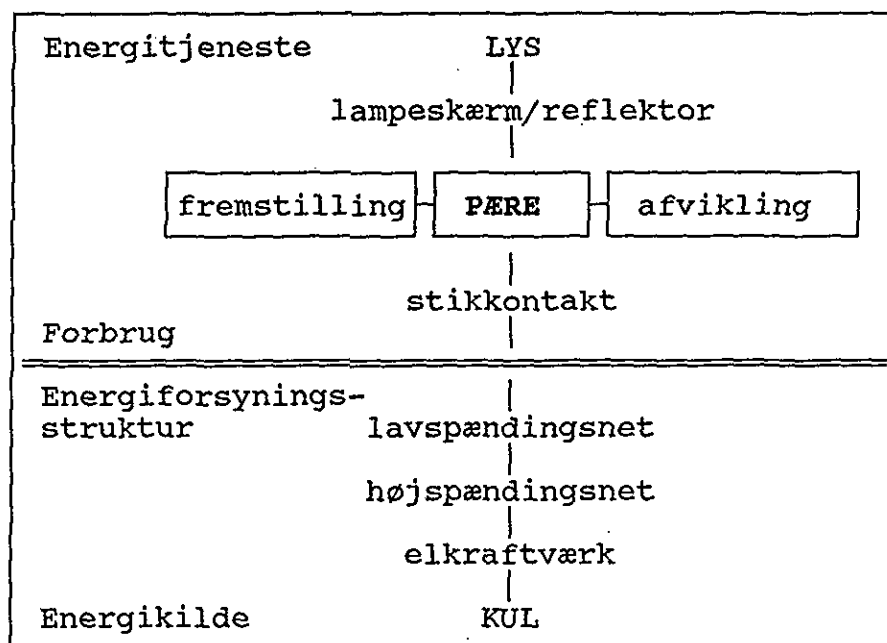
Ny materialeliste på vej

Der er en ny materialeliste på vej. Fra energiministeriets forskningsprogram er der bevilget ca. 1 mio.kr. til udarbejdelse af en ny materialeliste. Projektet forløber over 3 år, og involverer bl.a. Sigurd Andersen, Jørgen Dinesen (Statens Byggeforsknings-Institut) (ref. 6.1.5).

6.2 Lavenergipærer

I det følgende analyseres energi- og materialestrømme for en lavenergipære. I analysen gennemgås det kompakte lysstofrørs liv; fremstilling, drift og afvikling. På basis af dette vurderes det kompakte lysstofrør i hele dets livslængde i forhold til den energitjeneste, den har forsynet os med i driftfasen.

Figur 6.2.1 viser hvordan teknologien indgår i energisystemet (energikæde).



Figur 6.2.1

Energikæden illustrerer hvor i energisystemet lavenergipæren indgår.

*Sammenligning med
glødepære*

Endvidere sammenlignes det kompakte lysstofrør med den almindelige glødepære, både med hensyn til energiforbrug under fremstilling, drift og afvikling samt emissioner i de samme faser.

Lysstyrke

Der findes mange forskellige lavenergipærer på markedet, men for at lette sammenligning med en almindelig glødepære analyseres her den lavenergipære, der minder mest om glødepæren; et kompakt lysstofrør med almindelig skruefatning og elektronisk tænding (indbygget). Et 11 W kompakt lysstofrør giver en lysstrøm på 600 lumen, hvilket stort set svarer til lysudbyttet fra en 60 W glødepære. Lysstyrke og effekt for lavenergipærerne sammenlignes med tilsvarende glødepærer i figur 6.2.1.

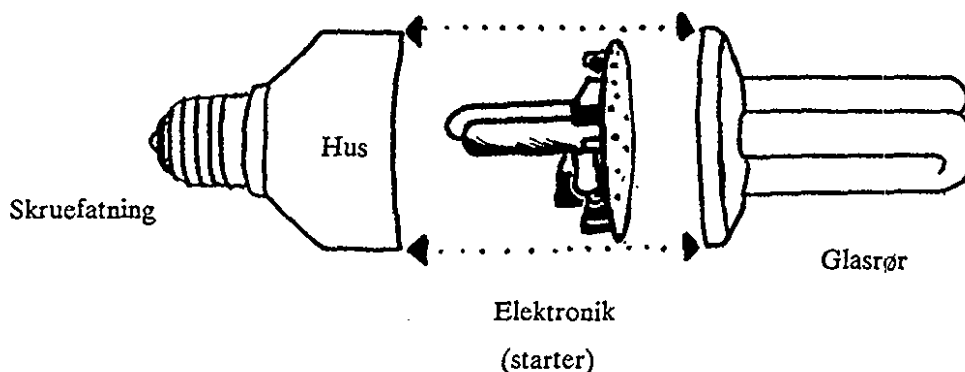
Kompakte lysstofrør			Tilsv. glødepærer		
Effekt Watt	Lys- styrke Lumen	Effek- tivitet Lumen/W	Effekt Watt	Lys- styrke Lumen	Effek- tivitet Lumen/W
7	400	57	40	430	11
11	600	55	60	730	12
15	900	60	75	960	13
20	1200	60	100	1380	14

Figur 6.2.2

Effekt, lysstyrke og effektivitet for hhv. kompakte lysstofrør og tilsvarende glødepærer

Bestanddele

Det kompakte lysstofrør består af glasrøret, "huset", en printplade med elektronik og skruefatningen.



Figur 6.2.3

Det kompakte lysstofrørs opbygning.

Funktion

Glasrøret indeholder kviksølv damp (Hg). Mellem elektroder i hver ende af røret springer elektroner, der - når de rammer et Hg-atom - exciterer en af atomets egne elektroner. Disse elektroner udsender UV-lys, når de hopper tilbage. Indersiden af glasrøret er belagt med et fluorescerende farvepulver, som udsender synligt lys, når det bestråles med UV-lyset. Farvepulveret består af krystaller, fremstillet af lanthanider ("sjældne jordarter"). Sammensætningen er afgørende for pærernes farvegengivelse (Ra-værdi)¹. I de kompakte lysstofrør benyttes en 3-pulver blanding, der giver en Ra-værdi på 82-84, hvilket ikke giver nogle problemer ved almindeligt lysbehov.

Levetid uafhængig af antal tændinger

For at få lysstofrøret tændt skal elektroderne være svagt opvarmede, og lysstofrøret skal tilføres en spænding på ca 300 V, der starter elektronudladningen. Tidligere har man benyttet en

1. Ra-værdi (0-100): Gennemsnitsbedømmelse af 8 testfarver (fastlagt af Commission International l'Eclairage - den internationale belysningskommission). Ra-index'et inddeles i tre hovedgrupper; Ra≈60: standard, Ra≈85: de Luxe og Ra>90: Super de Luxe.

glimtænder (starteren) til at opvarme elektroderne og levere den nødvendige startspænding. Men denne tænding belaster røret, og gør således levetiden afhængig af antal tændinger. I rør med elektronisk tænding er glimtænderen afløst af elektronik, der skåner røret. Levetiden er derfor uafhængig af antal tændinger.

6.2.1 Fremstilling

Materialer

Til fremstilling af et kompakt lysstofrør og en glødepære benyttes følgende materialer:

	Materiale	Lysstofrør masse	Glødepære masse
Glasrør	glas	33 g	22 g
"Hus"	plastic/bakelit	34 g	
Starter	elektronik	33 g	
Skruefatning	messing	9 g	9 g

Figur 6.2.4

Materialeforbrug til et kompakt lysstofrør og til en glødepære

Miljøskadelige stoffer

Desuden indeholder det kompakte lysstofrør en række miljøskadelige stoffer i selve glasrøret (glødepærer indeholder dog også bly i glasset):

Stof	Masse	Findes i
Antimon, Sb	0,8 mg	?
Barium, Ba	2,0 -	Elektrodebelægningen
Bly, Pb	68 -	Glasset
Kviksølv, Hg	8,4 -	Gassen
Yttrium, Y	240 -	Farvepulveret
Lantanider:		
- ukendt sammensætning	36 -	"
- Strontium, Sr	1,2 -	"

Figur 6.2.5

*) Bariumoxyd-forbindelse

Lysstofrørets indhold af tungmetaller og lantanider. Stofferne findes i selve glasrøret. Tallene er gennemsnitstal for et 11 W-rør.

De i figur 6.2.5 nævnte stoffer er (undtaget Yttrium) registreret i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 197, "Bekendtgørelse af listen over farlige stoffer". Alle må betegnes som særdeles sundhedsfarlige. Stofferne er ætsende, farlige ved indtagelse og indånding, kræftfremkaldende, ophobes i kroppen osv. osv..

Glødepærer indeholder en mængde bly, der relativt svarer til indholdet i lysstofrøret. Vi regner med, at en glødepære indeholder 45 mg bly.

Energiforbrug til fremstilling

Energiforbruget til fremstilling af det kompakte lysstofrør fremgår af figur 6.2.6:

	Materiale	Masse	Energiindhold i materialet	Energi- forbrug
Glasrør	Højtf. glas	33 g	11,2 Wh/g	370 Wh
Hus	Plastic/Bakelit	34 -	20 -	680 -
Elektronik	Højtf. kobber	33 -	26 -	860 -
Skruefatning	Messing	9 -	20 -	180 -
				ialt 2,1 kWh

Figur 6.2.6

Energiforbrug til fremstilling af det kompakte lysstofrør.

Energiindholdet i materialerne fremgår af tabel 6.1.1. Glas og kobbers energiindhold er tillagt 6 kWh/kg for højtf. forarbejdning.

8 glødepærer

Energiforbruget til fremstilling af 8 glødepærer er vist i figur 6.2.7. Man har målt, at levetiden for en glødepære er 1000 brændtimer, mens et kompakt lysstofrør har en levetid på 8000 brændtimer. Derfor sammenlignes energiforbruget til fremstilling af et lysstofrør med 8 glødepærer.

	Materiale i 8 glødepærer	Masse	Energiindhold i materialet	Energi- forbrug
Glaskolbe	Højtf. glas	176 g	11,2 Wh/g	1971 Wh
Skruefatning	Messing	72 g	20 -	1440 -
				ialt 3,4 kWh

Figur 6.2.7

Energiforbrug til fremstilling af 8 glødepærer.

Højtf. forarbejdede materialer

I beregningen af energiforbruget til fremstilling er der for glas og kobber medregnet energiforbrug til "højtf. forarbejdning", jf. afsnit 6.1, da det forventes at hovedparten af energiforbruget er procesenergi til forarbejdning, og ikke materialefremstilling.

Arbejdsmiljø

Da der i fremstillingen af de kompakte lysstofrør indgår en lang række sundhedsfarlige stoffer, må der stilles store krav til sikkerhedsforanstaltningerne. Bariumoxid er meget eksplosivt og reagerer voldsomt med vand. Omgang med stofferne skal altså ske med største forsigtighed.

6.2.2 Drift

8000 brændtimer

Levetid

Det kompakte lysstofrørs levetid er 8000 brændtimer¹. Med en gennemsnitlig benyttelsestid pr. lampested i boligen på 776 timer om året holder pæren ca. 10 år. For kompakte lysstofrør med elektronisk tænding er levetiden uafhængig af antal tændinger.

Energiforbrug

I det kompakte lysstofrørs levetid forbruger det ialt

Energiforbrug lavenergipære

8000 timer · 11 W = **88 kWh el** svarende til **326 kWh kul**

Til sammenligning vil en almindelig glødepære - til at opfylde samme energitjeneste - bruge ialt

Energiforbrug glødepære

8000 timer · 60 W = **480 kWh el** svarende til **1778 kWh kul**

De 326 og 1778 kWh kul angiver lyskildens primærenergibehov, i dette tilfælde omregnet til kulækvivalenter (virkningsgrad: 27% an forbruger, jvf. afsnit 6.9).

6.2.3 Afvikling

Genindvinde kviksølv

Genanvendelighed

I Tyskland forsøger man at genanvende almindelige lysstofrør. Man skærer enderne af, suger kviksølvdampen ud og blæser glastrøret rent. Det er dog usikkert om denne teknik kan overføres til de kompakte lysstofrør. I øjeblikket er det meget få lysstofrør der genanvendes, da processen koster ca. 3 gange så meget som selve røret. Ved destruktion af røret kan man genindvinde kviksølvet for ca 3% af rørets pris, man skal så sikre sig at resten af lavenergipæren afvikles forsvarligt.

Miljøeffekter

Ved afbrænding eller deponering vil rørets indhold af tungmetaller og sjældne jordarter udledes til luften eller jorden.

6.2.4 Samlet analyse

I figur 6.2.8 (næste side) er angivet energiforbruget og udledning af (de væsentligste) miljøbelastende stoffer for lavenergipæren gennem hele dens livsforløb, dog er energiforbrug til afvikling ikke medtaget. Dette sammenholdes med glødepæren. Det antages, at el-produktionen foregår på et kulfyret kraftværk (jvf. afsnit 2.4).

Lavere emissioner

Som det fremgår af figur 6.2.8 vil brugen af kompakte lysstofrør fremfor almindelige glødepærer mindske forureningen af CO₂, SO₂, NO_x, aske, Hg, Cd og Pb. Det er værd at bemærke, at selvom det kompakte lysstofrør - i modsætning til glødepæren - indeholder kviksølv, opvejes dette af sparet emission og deponering af samme stoffer som følge af det lavere energiforbrug. Desuden er lavenergipærens indhold af tungmetal (og lantanider) på fast eller flydende form, og vil således ikke blive udledt til luften eller jorden, hvis de indsamles.

1. Testet ved 60/150 sek. tænd-/slukrytme.

	KOMPAKT LYSSTOFRØR	GLØDEPÆRE	FORTRÆNGNING
ENERGIFORBRUG	88 kWh _{el}	480 kWh _{el}	392 kWh _{el}
CO ₂ - emission	110 kg	600 kg	490 kg
SO ₂ - emission	0,05 kg	0,26 kg	0,21 kg
- deponering	4,8 -	26 -	21 -
NO _x - emission	0,38 kg	2,06 kg	1,68 kg
Aske - emission	0,03 kg	0,14 kg	0,11 kg
- deponering	4,7 -	25,4 -	20,7 -
Hg - emission	1,6 mg	8,6 mg	7,0 mg
- deponering	10,7 -	12,5 -	1,8 -
Cd - emission	0,26 mg	1,44 mg	1,18 mg
- deponering	9,3 -	50,9 -	42 -
Pb - emission	4,8 mg	26 mg	21 mg
- deponering	0,5 g	2,9 g	2,4 g
Ba - deponering	2,0 mg	0	÷2,0 mg
Sb - deponering	0,8 -	0	÷0,8 -
Sr - deponering	1,2 -	0	÷1,2 -
Y - deponering	240 -	0	÷240 -
Ukendte lantanider	36 -	0	÷36 -

Figur 6.2.8

Den totale miljøbelastning for lavenergipære og glødepære under drift. Tallene inkluderer både emission og deponering som følge af elproduktion på kulfyret kraftværk (jvf. afsnit 6.9) og deponering af tungmetaller og lantanider ved afvikling af lavenergipæren

Energifaktor

Lavenergipærens livsforløbs-effektivitet udtrykkes ved dens fossile energifaktor, nemlig forholdet mellem den sparede mængde energi i driftfasen og merenergiforbruget i hele livsforløbet. Da energiforbruget til fremstilling af det kompakte lysstofrør er mindre end energiforbruget til fremstilling af glødepærene, vil den fossile energifaktor blive uendelig stor.

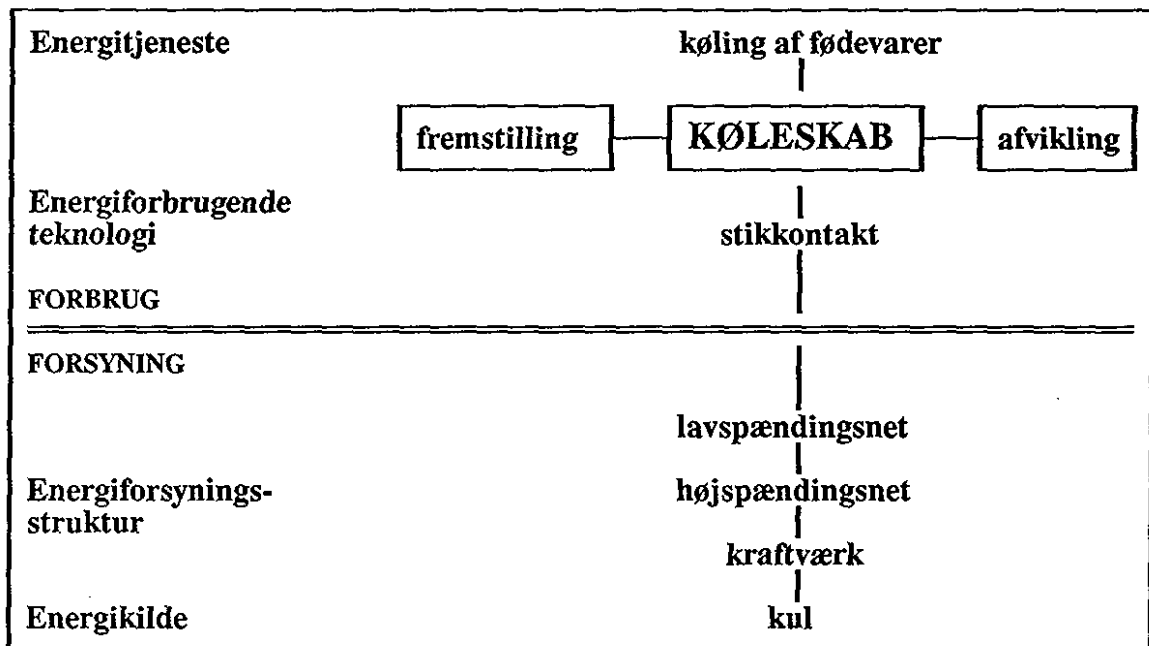
Energimæssigt optimalt

En samlet analyse af lavenergipærens livsforløb viser altså, at det altid er energimæssigt optimalt at benytte kompakte lysstofrør i stedet for glødepærer, idet der under alle led i livforløbet for et kompakt lysstofrør bruges mindre energi end for glødepæren. Ud fra et miljømæssigt synspunkt vil lavenergipæren også være bedre end en glødepære i det energisystem, der er idag. Indholdet af kviksølv i lysstofrørene kan dog blive væsentlige i emissionsregnskabet, såfremt elproduktionsmetoderne ændres til f.eks. at udnytte naturgas som energikilde.

6.3 Køleskabe

I dette eksempel sammenlignes livsforløbsanalyser for to 200 l køleskabe, nemlig K200 og lavenergikøleskabet LER200, begge fra Brdr. Gram. Det skal bemærkes, at udover LER200 er K200 det mest energieffektive på det danske marked.

Et køleskab indgår i energikæden for energitjenesten "køling af fødevarer" (fig. 6.3.1) og er en energiforbrugende teknologi. Energikilden er i dette tilfælde elektricitet baseret på kul, hvilket hovedsageligt er tilfældet i Danmark.



Figur 6.3.1

Eksempel på en energikæde, hvor et køleskab indgår.

Lavere energiforbrug

Det lavere energiforbrug for LER200 opnås ved hjælp af større isoleringsgrad af køleskabet, større varmekapacitet i kondensator og fordamper samt driftskondensator på kompressoren (ref. 6.3.1 og 6.3.2). Isoleringsmaterialet er polyuretanskum (PU-skum), der indeholder CFC11. I livsforløbsanalysen sammenlignes den energibesparelse, der opnås i drift, med det ekstra energiindhold i LER200 pga. det øgede materialeforbrug. Yderligere diskuteres indvirkningen på drivhuseffekten fra det øgede CFC11-forbrug til isolering, sammenlignet med reduktionen af drivhuseffekten som følge af den nedsatte CO₂-emission fra el-produktion.

6.3.1 Fremstilling.

Materialestrømme.

Køleskabets opbygning

På de fleste områder er fremstillingen af de to køleskabe ens, hvorfor vi indledningsvis giver en fælles beskrivelse af fremstillingen. Køleskabenes inderkabinet fremstilles ved opvarmning og formgivning af en Acryl-Butamin-Styren (ABS)-plade. Yderkabinet fremstilles af stål. Køleskabene isoleres med polyurethanskum. I de nuværende udgaver af køleskabene er hulrummene i PU-skummet fyldt med CFC11 (4 g/l isolering). Fra 1990 bliver en del af CFC11 erstattet med CO₂, så CFC11-indholdet er 2.5 g/l isolering. Denne blanding af CFC11 og CO₂ reducerer kun

	K200	LER200
Stål:		
Yderkabinet (plade)	19.5 kg	23.6 kg
Hylde (tråd)	3.5 kg	4.0 kg
Kondensator (rør)	1.0 kg	0.8 kg
Bæreskinne	0.9 kg	0.9 kg
diverse	0.5 kg	0.5 kg
Stål i alt	25 kg	30 kg
Forarbejdet stål:		
Kompressor	6.5 kg	6.5 kg
Termostat	0.1 kg	0.1 kg
Forarbejdet stål i alt	6.6 kg	6.6 kg
Aluminium:		
Fordamper	0.69 kg	1.03 kg
Håndtag til låge	0.33 kg	0.39 kg
Aluminium i alt	1.0 kg	1.4 kg
Plast (almen):		
Grøntsagsboks mm.(polycarbonat)	2.1 kg	2.7 kg
Tætningsramme (PVC)	0.4 kg	0.5 kg
diverse	0.2 kg	0.2 kg
Plast (almen) i alt	2.7 kg	3.4 kg
Polystyren:		
Kabinet (acryl-Butamin-Styren)	5.1 kg	6.5 kg
Polyurethanskum:	84 l	195 l
Polyurethan	3.4 kg	7.8 kg
Kemikalier:		
CFC11 i isolering	0.21 kg	0.49 kg
CFC11, spild v. opskumning 5%	0.01 kg	0.03 kg
CFC12 (kølemiddel)	0.1 kg	0.1 kg
Lim	0.3 kg	0.3 kg
Epoxy (maling)	0.1 kg	0.2 kg
MEP-pulver (maling)	0.9 kg	0.9 kg
Saltsyre	0.1 kg	0.1 kg
Natronlud	0.1 kg	0.1 kg
Kemikalier i alt	1.8 kg	2.2 kg
Emballage:		
Pap	1 kg	1 kg
Træ	2.6 kg	2.7 kg
Plast	0.5 kg	0.6 kg
Vægt af køleskab	50 kg	62 kg

Figur 6.3.2
Materialeforbrug ved fremstilling af køleskabe.

isoleringsevnen med 5-7 %, men erstattes mere af CFC11-indholdet i isoleringen med udelukkende CO₂ falder isoleringsevnen meget (ref. 6.3.3). I eksemplet regnes med 2.5 g CFC11/l. Fordamperen er fremstillet af aluminium, kondensator og størstedelen af kompressor af stål. Køleskabets hylder er fremstillet af stål, grøntsagsskuffe mm. i polycarbonat. Desuden indgår forskellige kemikalier i produktionen (i forbindelse med maling, limning, rengøring). Som kølemiddel benyttes CFC12.

I figur 6.3.2 er opgjort materialeforbruget til fremstilling af K200 og LER200 på grundlag af ref. 6.3.3. For en del materialer forelå mængderne som volumen. Ved omregning til vægt er densiteterne, som er opgivet i afsnit 6.1, benyttet.

Materialespild

Der er et meget lille materialespild ved fremstillingsprocessen (ref.6.3.3). Der er et stålsild i størrelsesordenen 0.5 %. Dette stål genbruges. Der er desuden rester af polycarbonat fra afklippede hjørner af grøntsagsskuffe mm. Dette granuleres og genbruges på fabrikken ved produktion af nye polycarbonatprodukter. Pap og papir (emballage) afhentes til genbrug. Ved opskumning af isolering sker der udslip af CFC11. Dette udslip udgør omkring 5% af forbruget (ref. 6.3.4).

Virksomhedens energiforbrug

Energiforhold.

På grundlag af figur 6.3.2 er energiindholdet i køleskabene, når de leveres til forbrugerne, opgjort (figur 6.3.3). Energiindholdet i de enkelte materialer samt energiforbrug til transport af køleskab ud til forbrugeren fås fra afsnit 6.1. Energiforbruget på fabrikken til fremstilling er i gennemsnit 5.3 kg olie og 38.2 kWh el pr. produceret enhed (ref. 6.3.3). Vi vælger at fordele energiforbruget til fremstilling af LER200 og K200 efter køleskabenes vægt. Oliens nedre brændværdi er 11.9 kWh/kg. For el-produktion regner vi med en virkningsgrad på 27 % for el leveret ved forbrugeren, som angivet i afsnit 6.9.

Samlede energiindhold

Det samlede energiindhold regnet som primærenergi fås for K200 til 800 kWh og for LER200 til 1050 kWh. Det ekstra energiindhold i lavenergikøleskabet er 250 kWh. De største bidrag til energiindholdet fås fra stål, plast og polyurethan, hvor indholdet i et LER200 køleskab er størst pga. de større dimensioner. Det ses, at energiforbruget til emballering og transport af køleskab til forbruger er ubetydeligt, idet det kun udgør 3-4 % af det samlede energiindhold i køleskabet.

		K200	LER200
Køleskab:			
Stål	7 kWh/kg	175 kWh	210 kWh
Forarbejdet stål	13 kWh/kg	86 kWh	86 kWh
Aluminium	46 kWh/kg	46 kWh	64 kWh
Plast (almen)	20 kWh/kg	54 kWh	68 kWh
Polystyren	30 kWh/kg	153 kWh	195 kWh
PU-skum	19 kWh/kg	65 kWh	148 kWh
Kemikalier *	7 kWh/kg	13 kWh	15 kWh
I alt		592 kWh	786 kWh
Energiforbrug ved fremstilling			
Olie		56 kWh	70 kWh
El		126 kWh	157 kWh
I alt		182 kWh	227 kWh
Emballage:			
Pap	6.5 kWh/kg	7 kWh	7 kWh
Træ	1.6 kWh/kg	4 kWh	4 kWh
Plast	20 kWh/kg	10 kWh	12 kWh
I alt		21 kWh	23 kWh
Transport (300 km)	0.6 kWh/ton*km	9 kWh	11 kWh
I Alt		800 kWh	1050 kWh

*Vi bruger energiindholdet i maling, som udgør størstedelen af kemikalierne.

Figur 6.3.3

Energiindhold i køleskabe omregnet til primærenergiforbrug.

Arbejds miljø.

I det følgende er omtalt, hvilke materialer og processer, som indgår ved produktion af køleskabe, der kan give anledning til arbejdsmiljøproblemer. Gennemgangen er baseret på ref. 6.3.5. For en stor del af problemerne er omfanget afhængig af, hvor god udsugningen er på arbejdspladsen.

ABS-plast

ABS-plast opvarmes ved formgivningen af inderkabinettet. Ved denne opvarmning frigives styren-dampe. Styren er et opløsningsmiddel, der virker irriterende på åndedrætsorganer og øjne. Langtidspåvirkning af styren kan føre til kroniske skader på hjerne og nervesystem samt menstruationsforstyrrelser. Styren er yderligere mistænkt for at give fosterskader og være kræftfremkaldende. Den danske grænseværdi for styren-dampe er 25 ppm.

PU-skum

Ved fremstilling af polyurethanskum frigives isocyanater. I små koncentrationer irriterer disse øjne, hud og åndedrætsorganer. I større koncentrationer kan de medføre livsfarlige lungeskader. Langtidspåvirkning af isocyanater kan medføre en astmalignende luftvejssygdom og/eller nedsat lungefunktion. Den danske grænseværdi for isocyanater er 0.005 ppm. Der kan også opstå problemer ved brand. Polyurethan er vanskeligt antændeligt, men brænder det, kan der dannes giftige gasser, f.eks carbonmonoxid, nitroser gasser og hydrogencyanid.

CFC-gasser

Indånding af CFC-gasser kan give alvorlige forstyrrelser af hjerterytmen. Flydende CFC kan give forfrysningsskader på huden. Ved

høje temperaturer spaltes CFC-molekylerne og der dannes giftige gasser. Dette kan give problemer ved rygning i et lokale med dampe af CFC.

Overfladebehandling

Ved overfladebehandling af køleskabe indgår flere kemikalier, der kan give anledning til arbejdsmiljøskader. Epoxy er hudirriterende og stærkt allergifremkaldende. Natronlud og saltsyre bruges til rengøring, der foregår i bade. Begge stoffer er ætsende. Ligeledes virker dampende irriterende og ætsende på luftveje.

6.3.2 Drift.

Standardtest

Energi- og ressourceforbrug.

Ifølge standardtest foretaget af Brdr. Gram, har K200 et el-forbrug på 193 kWh/år og LER200 88 kWh/år (ref. 6.3.6). Ved standardtesten indbygges skabene på samme måde, rumtemperaturen er 25 °C, køleskabstemperaturen 5 °C og der foretages ingen døråbninger. Ved en test af køleskabene i praktisk brug med 116 stk. LER200 og 25 stk. K200 køleskabe er el-forbruget fundet til 157 kWh/år for K200 og 89 kWh/år for LER200, (ref. 6.3.1). Energiforbruget i praksis er altså for K200 fundet til at være 20 % lavere end i standardtesten, hvor det for LER200 er det samme som i standardtesten. Da der kan være store forskelle i brugsmønstre og placering af køleskabene hos forbrugerne, og der ydermere ikke er brugbare målinger af rum- og køleskabstemperaturer under afprøvningen, vælger vi at bruge tallene fra standardtesten. Dette betyder dog, at el-forbruget for K200 muligvis sættes for højt ift. praktisk brug.

Alle ovenstående tal gælder for de nuværende køleskabe, der indeholder 4.0 g CFC11 pr. l i isoleringen. Forsøg foretaget af Gram har vist, at isoleringsevnen falder 5-7 %, når CFC11-indholdet i isoleringen nedsættes til 2.5 g/l (ref. 6.3.3). Vi regner her med en forøgelse af energiforbruget på 7 % ift. de nuværende køleskabe. Dette giver et energiforbrug for K200 på 207 kWh/år og for LER200 på 94 kWh/år. Altså spares der 113 kWh el pr. år ved brug af LER200. Sammenlignes med andre køleskabe på markedet, er besparelsen endnu større, idet gennemsnitsforbruget for de 175 l køleskabe, der sælges idag, er 230 kWh/år (ref. 6.3.7).

Emissioner og miljøeffekter.

Da størstedelen af Danmarks el-forbrug i øjeblikket dækkes af kul, regner vi med, at køleskabenes elforbrug dækkes af et kulstøvfyrte kraftvarmewærk med en virkningsgrad på 27 % an forbruger (afsnit 6.9). I figur 6.3.4 er opgjort køleskabenes årlige energiforbrug samt mængden af restprodukter fra el-produktionen igennem køleskabets levetid.

CFC-gasser

Der er en del miljøproblemer forbundet med elproduktionen til drift af køleskabet. Disse er nærmere beskrevet i afsnit 6.9. Yderligere vil der i køleskabets levetid afgives CFC11 fra isoleringen. Det årlige tab kan sættes til 0.5 % af den totale mængde, (ref. 6.3.2). Med en levetid på 13 år vil der fra LER200 frigives 32 g CFC11 og fra K200 14 g CFC11.

Udslip af kølemiddel vil ligeledes have negative miljø-effekter, idet CFC12, ligesom CFC11 er en drivhusgas og desuden virker nedbrydende på ozonlaget.

		K200	LER200	Besparelse
Elforbrug kWh/år		207	94	113
Primær energi kWh/år		767	348	419
Emission:				
CO ₂	1.25 kg/kWh el	3364 kg	1528 kg	1836 kg
SO ₂	0.55 g/kWh el	1.5 kg	0.7 kg	0.8 kg
NO _x	4.29 g/kWh el	11.5 kg	5.2 kg	6.3 kg

Figur 6.3.4

Årligt energiforbrug og emissioner til luft fra elproduktionen i køleskabenes levetid.

Arbejdsmiljø

Ved reparation af køleskabe kan der ske udslip af CFC12, der benyttes som kølemiddel. Som nævnt ovenfor kan indånding af CFC-gasser give alvorlige forstyrrelser i hjerterytmen eller medføre forgiftning ved rygning i et rum, hvor udslip forekommer.

Levetid.

Køleskabets levetid sættes til 13 år (ref. 6.3.2).

6.3.3 Afvikling.

Genanvendelighed.

Ved afvikling af køleskabe kan dele af kølemedlet opsamles og genanvendes. Der findes på nuværende tidspunkt ordninger flere steder i Danmark, hvor køleskabe indsamles og kølemedlet aftappes. I Århus, hvor man er længst fremme, har man igennem nogen tid opsamlet kølemedlet og gemt dette på trykflasker. Kølemedlet vil blive rensat og videresolgt. Der er i gennemsnit opsamlet 50-60 g kølemedlet pr. køleskab, hvilket er omkring halvdelen af den samlede mængde (ref. 6.3.8). Opsamles halvdelen af kølemedlet, vil der komme et udslip på 50 g CFC12 pr. køleskab for både K200 og LER200. Der vil også være mulighed for at genanvende køleskabets metaldele. Der vil i øvrigt ofte være mulighed for reparation af et kasseret køleskab (udskiftning af kompressor og/eller termostat, ny kølemiddelfyldning), såfremt der ikke er noget i vejen med selve køleskabet.

Emissioner og miljøeffekter.

Det største miljøproblem er indholdet af CFC11 i isoleringen. Der findes i øjeblikket ingen måde at opsamle denne på. Men der foregår forsøg forskellige steder i udlandet med at knuse køleskabe og suge CFC op (ref. 6.3.8). Da denne metode er temmelig dyr, omkring 500 kr pr. køleskab, er det næppe en realistisk løsning i øjeblikket. En anden måde at undgå udslip af CFC til atmosfæren i afviklingsfasen er at brænde isoleringsmaterialet. Ved temperaturer over 800 °C i 2 sek. destrueres CFC11 i PU-skum (ref. 6.3.8). Om denne afbrænding kan foregå forsvarligt i almindelige affaldsforbrændingsanlæg, eller det kræver specielle anlæg, ved vi ikke. Muligvis vil der være miljømæssige problemer med forbrændingsprodukterne fra polyurethanskummet. Sker der ingen opsamling af CFC11 eller afbrænding af PU-skum, vil der ialt frigives 0.21 kg CFC11 fra K200 og 0.49 kg fra LER200 (incl.

Opsamling af kølemedlet

CFC i isoleringen

den mængde der frigives før afvikling). Afbrænding af andre plastdele (PVC, polystyren) kan også give miljømæssige gener. Ved forbrændingen udvikles bl.a. kulmonooxid og saltsyre (forsuring).

For at genbruge materialer og brænde isoleringen er det nødvendigt at skille køleskabet ad. Dette giver et øget energiforbrug ved afviklingen. Ligeledes vil knusning af køleskabe medføre et forøget energiforbrug. Vi har ikke forsøgt at sætte tal på disse energiforbrug, men de er næppe nær så store som forbruget ved fremstilling.

Arbejdsmiljø.

Som nævnt under drift, kan der opstå arbejdsmiljøproblemer ved aftapning af kølemiddel, hvis der sker et udslip af CFC12. Der kan ligeledes være problemer forbundet med fjernelse af overfladebehandling fra metaldele.

6.3.4 Samlet Analyse.

Fossil energifaktor

Energifaktor

Energibesparelsen ved brug af lavenergikøleskabet LER200 opnås hovedsageligt pga. en øget isolering og større varmekapacitet af varmevekslere (fordamper og kondensator). Dette betyder, at der er et øget materialeforbrug ved produktion af LER200. LER200 har et energiindhold, der er 250 kWh højere end energiindholdet i K200. I drift spares der 113 kWh_{el}/år. For køleskabene regnes med en levetid på 13 år, hvorved *energifaktoren* bliver:

$$\text{Energifaktor} = \frac{113 \text{ kWh}_{el}/\text{år} \cdot 13 \text{ år}}{250 \text{ kWh}} = 5,9$$

Energitilbagebetalingstid

Såfremt det primære energiforbrug i kulækvivalenter til elfremstillingen inddrages (5447 kWh i hele livsforløbet) ses, at køleskabet sparer det ekstra energiforbrug til fremstillingen 22 gange i løbet af hele livsforløbet.

Miljømæssig vurdering

*Drivhuseffekt :
CFC kontra CO₂*

Udfra en miljømæssig betragtning betyder det lavere primærenergiforbrug på kraftværkerne en formindskelse af drivhuseffekten, mindre forsurening samt mindre emission af tungmetaller. I hele køleskabets levetid spares emissioner af 24 ton CO₂, 10 kg SO₂ og 82 kg NO_x. Men idet CFC-gasser også er drivhusgasser, har de øgede CFC-mængder en virkning på drivhuseffekten. I følge ref. 6.3.9 svarer effekten af et CFC11- eller CFC12-molekyle til effekten af 15.000 CO₂-molekyler. For andre (bløde) CFC-gasser er effekten mindre. Øget udslip af CFC betyder ligeledes, at der vil ske en større nedbrydning af ozonlaget, også her er det CFC11 og CFC12, der har den største effekt.

3 tilfælde

Hvor stort det øgede CFC-udslip bliver, er selvfølgelig afhængig af, hvor stor en del af CFC fra isolering, der opsamles eller destrueres. I figur 6.3.5 er opgjort det forøgede udslip af CFC fra LER200 i forhold til K200 i tre tilfælde:

- 1) Spild under produktion opsamles ikke, og der sker ingen opsamling/destruktion af CFC i isolering på afviklingstidspunktet.

- 2) Al spild under produktion opsamles, 50 % af CFC i isoleringen på afviklingstidspunktet opsamles/destrueres.
- 3) Al spild under produktion opsamles, 90 % af CFC i isoleringen på afviklingstidspunktet opsamles/destrueres.

		1)	2)	3)
Spild ved produktion	kg	0.02	0	0
Udslip under drift	kg	0.02	0.02	0.02
Udslip efter skrotning	kg	0.26	0.13	0.03
Samlet udslip	kg	0.30	0.15	0.05
Omregnet til mol	mol	2.2	1.1	0.37
CO ₂ ækvivalenter	kmol	33	16	5.5

Molmassen for CFC 11 = 137 g/mol

Figur 6.3.5

Ekstra CFC-udslip fra LER200 sammenlignet med K200.

Drivhuseffekten mindskes

CO₂-udslippet reduceres med 42 kmol (Molmassen for CO₂ = 44 kg/kmol) i køleskabets levetid. Ved produktion bruges 250 kWh ekstra primærenergi til produktion af LER200 ift. K200. Antager vi, at al denne primærenergi er i form af kul på et kraftværk, giver dette en emission på 2 kmol CO₂. I alt mindskes CO₂-udslippet med 44 kmol. Dette betyder, at brug af lavenergi-køleskabe vil medføre en formindskelse af drivhuseffekten. Men gøres der ikke noget for at opsamle eller destruere CFC ved afvikling af køleskabe, vil denne forbedring være begrænset til ca. 7 kmol CO₂ ækvivalenter. Opsamles/destrueres en del af CFC-gassen derimod, vil drivhuseffekten mindskes væsentligt. Ved indsamling af freon vil nedbrydningen af ozon-laget samtidig nedsættes.

Arbejdsmiljø

Mulige arbejdsmiljøproblemer i forbindelse med K200 og LER200 er af samme art og størrelsesorden, da der ikke er nogen principielle forskelle ved produktion og drift af de to køleskabsmodeller.

Renere teknologi.

Som det fremgår af ovenstående, er det helt store miljømæssige problem i forbindelse med køleskabe CFC-gasser, da disse både er med til at øge drivhuseffekten og medfører nedbrydning af ozonlaget. Fra 1998 vil det da også i Danmark være forbudt at sælge køleskabe, der indeholder CFC (ref. 6.3.10). En væsentlig indsats må rettes mod at finde andre egnede kølemidler og isoleringsmaterialer til køleskabe, der også bør have bedre arbejdsmiljømæssige egenskaber end de nuværende. Det er vigtigt, at man vælger nye isoleringsmaterialer med høj isoleringsevne, så man undgår kraftig stigning i energiforbruget og/eller i isoleringstykkelser. Der foregår en del forskning på området, især med helt nye stoffer. Men løsningen med velkendte materialer som f.eks. CO₂-opskummet isolering kan også komme på tale.

CFC, det største problem

Akkumuleret CFC-mængde

Den akkumulerede CFC11 mængde i isoleringen i den nuværende bestand af køleskabe og frydere er ca. 2000 ton (ref. 6.3.4). Så selvom køleskabe i fremtiden produceres uden CFC, vil det stadig være af stor betydning for miljøet, at der oprettes landsdækkende indsamlingsordninger for de nuværende køleskabe og sørges for opsamling eller destruktion af CFC.

Fysisk planlægning

En anden mulighed, er at nedbringe kølebehovet og/eller løse det på en anden måde. Derved vil der være behov for færre køleskabe (nogle husstande har mere end et køleskab) og mindre nettovolumen af køleskabene. Dette giver mulighed for at isolere med materialer, der har større varmeledningsevne end CFC-oppustet PU-skum (f.eks. glasuld eller CO₂-oppustet PU-skum) uden at bruttovolumenet øges. En måde til nedbringelse af behovet for køleskabskøling, består i at indrette boliger med nordvendte køkkener og tilknyttet et køligt spiseskab/kælder. Derved vil en del ting (øl, sodavand, frugt & grønt mm.), der i øjeblikket ofte opbevares i køleskab, kunne opbevares der i stedet for.

6.4 Elgryder

Definition af elgryde

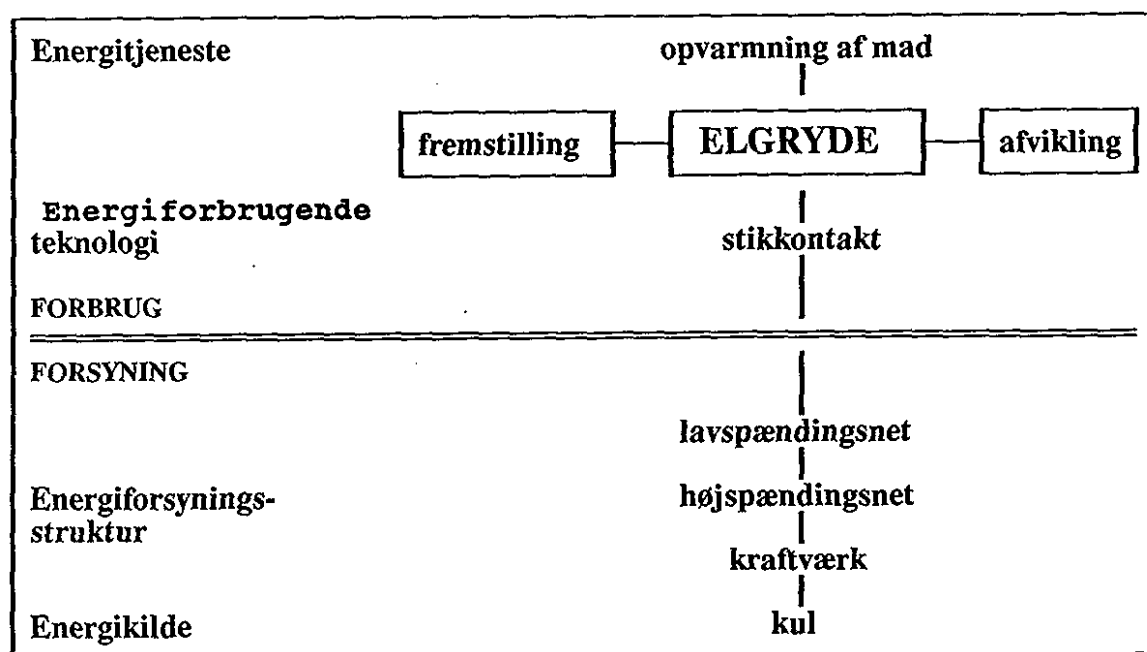
I dette eksempel ser vi på en livsforløbsanalyse for elgryder, det vil sige gryder med elektrisk varmelegeme indbygget i bunden. Der sammenlignes med en livsforløbsanalyse for elkogeplader med tilhørende gryder. De valgte elkogeplader forhandles af A/S Ernst Voss Fabrik under betegnelsen "dropinetter". Et dropinette er en betegnelse for en kogesektion med kogeplader til nedsænkning i en bordplade.

Udvalgte eksempler

Der beregnes eksempler for følgende kombinationer af gryder, elgryder og kogeplader:

1. Al husholdningens madlavning på kogeplader foregår i elgryder og elpander. Antallet af elgryder m.m. antages at være lig det sædvanlige antal gryder.
2. Et dropinette med fire kogeplader og tilhørende gryder, pander m.m. suppleres med 2 elgryder. I dette tilfælde udgør elgryderne altså 2 ekstra gryder. Elgryderne antages at kunne erstatte 50% af husholdningens madlavning på kogeplader.
3. Husholdningens madlavning foretages fortrinsvis i to elgryder, men som supplement haves et dropinette med to kogeplader og tilhørende gryder, pander m.m. I dette tilfælde antages den ene elgryde at udgøre en ekstra gryde. Elgryderne antages at kunne erstatte 75% af husholdningens madlavning på kogeplader.

I figur 6.4.1 ses en energikæde for elgryder.



Figur 6.4.1
Eksempel på den energikæde som elgryder indgår i.

6.4.1 Fremstilling

Materialeforbrug dropinette

Elkogeplader (dropinette fra A/S Ernst Voss Fabrik).

Vægten af et dropinette med 4 kogeplader er ca. 9 kg (ref. 6.4.1). Heraf er hovedparten støbejern (massekogeplader), galvaniseret stål (bund og spændebeslag m.m.) og rustfrit stål (overplade). Der er også anvendt små mængder af f.eks. kobber og plast, men det ser vi bort fra her. Dropinettes overplade ("kabinet") er ikke belagt med emalje.

Materialeforbrug og energiindhold i et dropinette fremgår af figur 6.4.2.

Materiale	Materialeforbrug	Energiindhold
Støbejern	5.2 kg	36.4 kWh
galvaniseret stål	2.4 kg	31.2 kWh
rustfrit stål	1.4 kg	18.2 kWh
I alt	9.0 kg	86 kWh

Figur 6.4.2

Materialeforbrug og energiindhold i dropinette med 4 kogeplader.

Energiindholdet per kg er fundet fra afsnit 6.1.

I de senere beregninger antages energiindholdet i et dropinette med 2 kogeplader at være halvdelen af energiindholdet i et dropinette med 4 kogeplader.

Sammenlignelige gryder

Elgryde - gryde til massekogeplade.

For at kunne foretage en rimelig sammenligning af energi- og materialeforbrug i fremstillingsfasen, skal elgryden og gryden til massekogepladen være af tilsvarende størrelse, udformning og materiale. Da sådanne sammenlignelige gryder ikke umiddelbart findes, har vi valgt at tage udgangspunkt i en eksisterende gryde til massekogeplade og vurdere merforbruget (hvis der er et sådant), ved at producere en elgryde af samme materiale og størrelse.

Energiindhold i gryder

Energiindholdet i gryder afhænger i høj grad af i hvilket materiale den er fremstillet og af om det er en tykbundet eller en tyndbundet gryde (vægten af gryden). De mest anvendte materialer til gryder er stål og aluminium. Gryder til massekogeplader er normalt tykbundede for at sikre at bunden ikke buler efter nogen tids brug. En gryde med bulet bund resulterer i en betydelig dårligere varmeovergang og dermed i et forøget energiforbrug.

Gryde fra Pyrolux Produktion

Til eksempel har vi valgt at se på en tykbundet aluminiumsgryde (3.5 liter) fra Pyrolux Production. Gryden har glaslåg og håndtag af bakelit.

Materialeforbrug og energiindhold i aluminiumsgryde fremgår af figur 6.4.3.

	Materialeforbrug	Energiindhold
gryde (aluminium)	1.2 kg	62.4 kWh
glaslæg (glas)	0.5 kg	2.6 kWh
håndtag (bakelit)	0.2 kg	0.4 kWh
i alt	1.9 kg	65 kWh

Figur 6.4.3

Materialeforbrug og energiindhold i aluminiumsgryde.

Energiindhold i elgryder

Energiindholdet i en elgryde kan i denne overslagsmæssige beregning sættes lig energiindholdet i en tilsvarende gryde beregnet til massekogeplader. Den energimængde, der er anvendt til varmelegemet i elgryden modsvares af at gryden kan fremstilles med en tyndere bund. Ved at reducere tykkelsen af bunden fra 8mm til 4mm spares et materialeforbrug på 0.22 kg aluminium svarende til et energiindhold på ca. 11 kWh. Vi antager her, at energiindholdet i et varmelegeme med en termostat ikke overstiger dette forbrug.

I de følgende beregninger sættes energiindholdet i elgryder lig med energiindholdet i tilsvarende gryder til massekogeplader. I de aktuelle eksempler anvendes energiindholdet angivet i figur 6.4.3, svarende til 65 kWh.

Merforbrug til fremstilling

Merforbrug i fremstillingsfasen

For de tre kombinationer af gryder, elgryder og antal kogeplader nævnt i indledningen til denne livsforløbsanalyse fås følgende merforbrug i fremstillingsfasen:

1. I dette tilfælde er der ikke tale om noget merforbrug, men derimod om en besparelse idet der *spares* et energiforbrug svarende til energiindholdet i et dropinette, hvilket udgør en *besparelse* på 86 kWh.
2. Her er der tale om et merforbrug svarende til energiindholdet i 2 elgryder, svarende til 130 kWh.
3. I denne kombination anvendes et dropinette med to kogeplader, og det betyder en besparelse på 43 kWh. Bsparelsen opvejes af, at der anvendes en ekstra gryde med et energiindhold på 65 kWh. Der bliver altså ialt tale om et merforbrug på 22 kWh.

Af det ovenstående ses at der i fremstillingsfasen kan være tale om såvel et sparet forbrug (kombination 1) som et merforbrug (kombination 2 og 3)

Miljø - arbejdsmiljø

Da elgryder og almindelige gryder her antages at være af samme materiale m.m., vil evt. problemer med hensyn til miljø og arbejdsmiljø være af samme karakter for de to typer gryder, hvorfor vi ikke her, vil komme nærmere ind på miljømæssige problemer.

6.4.2 Drift

Elbesparelse ved anvendelse af elgryder

Energibesparelse.

Det gennemsnitlige elforbrug for komfurer (ekskl. ovn) solgt i 1988 er ca. 450 kWh/år (ref. 6.4.3). I driftsfasen sparer en elgryde ca 30% i forhold til anvendelse af en almindelig gryde på en massekogeplade (ref. 6.4.2). Hvis al husholdningens madlavning i gryde foretages i elgryder, vil det dermed resultere i et årlig besparelse på 135 kWh. Den årlige besparelse for de tre kombinationer af gryder, elgryder og kogesektiner nævnt i indledningen til denne livsforløbsanalyse fremgår af figur 6.4.4.

Substitutionsgrad

Figuren angiver desuden den antagne substitutionsgrad, hvilket vil sige den procentdel af madlavningen på kogeplade, der er antaget at kunne erstattes med madlavning i elgryder.

	Substitutionsgrad	Energibesparelse
Kombination 1	100 %	140 kWh/år
Kombination 2	50 %	70 kWh/år
Kombination 3	75 %	100 kWh/år

Figur 6.4.4

Den årlige elbesparelse for forskellige kombinationer af elgryder, gryder og kogeplader.

Emissioner

Miljø - arbejdsmiljø

Elbesparelser i driftsfasen betyder, at der spares emissioner af CO₂, NO_x, SO₂, tungmetaller m.m. De sparede emissioner opgøres i afsnit 6.4.4.

Elgryder og almindelige gryder anvendes på samme måde i driftsfasen, så der vil ikke være forskelle i arbejdsmiljøet.

Levetid

Levetid

Levetiden for gryder, elgryder og kogeplader antages at være 10 år.

6.4.3 Afvikling.

Spare energiforbrug

Energi- og resourceforbrug.

Hvis madlavning på kogeplader erstattes 100% af madlavning i elgryder (som i kombination 1), kan der spares energiforbrug til afvikling, idet afvikling af kogepladerne spares. For de andre to kombinationer, kan der være tale om et merforbrug til afvikling, da der anvendes et ekstra antal gryder. Vi ser imidlertid bort fra dette, da vi ikke kan sætte tal på.

Genanvendelighed.

Da dropinetter fra Voss ikke er belagt med emalje, som komfurer traditionelt er, er det en oplagt mulighed at genanvende stålet. Det kan også være muligt at genanvende aluminium fra gryderne.

6.4.4 Samlet analyse.

Fossil energifaktor

Energifaktor

Merforbrug til fremstilling, elbesparelse i driftsfasen og energifaktor (fossil energifaktor) for de tre tidligere nævnte kombinationer af gryder, elgryder og dropinetter er vist i figur 6.4.5. Merforbrug til fremstilling fremgår af afsnit 6.4.1. Elbesparelse i driftsfasen er fundet ved at gange den årlige elbesparelse (fremgår af figur 6.4.4) med levetiden (10 år). Energifaktoren er beregnet som forholdet mellem elbesparelsen i driftsfasen og merforbruget til fremstillingen.

	Merforbrug til fremstilling	Elbesparelse i driftsfasen	Energifaktor
Kombination 1	-86 kWh	1400 kWh	∞
Kombination 2	130 kWh	700 kWh	5
Kombination 3	22 kWh	1000 kWh	45

Figur 6.4.5

Merforbrug, elbesparelse i driftsfasen og fossil energifaktor for forskellige kombinationer af elgryder, gryder og kogeplader.

Energifaktor for komb. 1

I det tilfælde (kombination 1), hvor elgryder anvendes til al husholdningens madlavning på kogeplader, spares energi i såvel fremstillings- som driftsfasen, og energifaktoren bliver derfor negativ eller, hvis merforbruget sættes til 0, uendelig stor (∞). Der er altså her tale om en besparelseteknologi, der kan give anledning til sparet energiforbrug i driftsfasen, uden at give anledning til ekstra forbrug i de andre faser af livsforløbet. Dette er en meget vigtig pointe.

Energifaktor for komb. 2 og 3

Energifaktorerne for kombination 2 og 3 er begge større end 1, hvilket betyder, at de sparer mere energi, end det merforbrug, der anvendes til fremstilling. Kombination 2, hvor begge elgryder betragtes som ekstra gryder, og gryderne antages at erstatte 50% af madlavningens elforbrug på kogeplade er ikke speciel fordelagtig for anvendelse af elgryder. Men selv i dette tilfælde fås en energifaktor på 5. Denne værdi kan opfattes, som en nedre grænse for energifaktoren for anvendelse af elgryder.

Størrelsesorden af energifaktor

Energifaktorerne for forskellige kombinationer af elgryder, gryder og kogeplader er altså af størrelsesordenen 5 til uendelig.

Sparede emissioner

Emissioner

De sparede emissioner i livsforløbet for kombination 1 og 2 fremgår af figur 6.4.6. Mængden af sparede emissioner beregnes ved at summere sparede emissioner i fremstillingsfasen med sparede emissioner i driftsfasen (de negative fortegn i figuren indikerer, at der for den pågældende kombination er tale om et merforbrug i fremstillingsfasen og dermed et forøget antal emissioner). Emissionerne er beregnet på basis af oplysninger i afsnit 6.9, om emissioner per produceret energimængde for et kulfyret kraftværk med røgrensning.

Sparede emissioner i livsforløbet			
	CO ₂ (ton)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)
Kombination 1			
-fremstilling	0.04	0.02	0.12
-drift	1.8	0.77	6.0
Totalt	1.8	0.79	6.1
Kombination 3			
-fremstilling	-0.05	-0.02	-0.18
-drift	0.88	0.39	3.0
Totalt	0.83	0.37	2.8

Figur 6.4.6

Sparede emissioner i livsforløbet per husholdning.

Da de beregnede emissioner gælder for et kulfyret kraftværk med røgrensning, spares der endvidere en mængde flyveaske og gips samt udledning af tungmetaller.

Totalt besparelspotentiale

Figur 6.4.6 viser de sparede emissioner per husholdning. Da der i Danmark er ca. 2.5 mill husholdninger kan der på landsplan spares betydelige emissioner. Hvis elgryder erstatter al madlavning på elkogeplader (kombination 1), kan der spares udledning af 4.5 millioner tons CO₂, 2000 tons SO₂ og 15000 tons NO_x over en tiårig periode.

Absolut renere teknologi

Renere teknologi

Elgryder må absolut betragtes som en renere teknologi, idet de kan medvirke til at reducere energiforbruget til madlavning i de danske husholdninger (og dermed de tilhørende emissioner) betydeligt. Elgryder giver endvidere ikke anledning til flere problemer med arbejdsmiljøet end tilsvarende almindelige gryder. Det er dog vigtigt, at arbejdsmiljøet inddrages ved produktion af en evt. elgryde.

Elgryder er et eksempel på en besparelseteknologi, der kan give anledning til besparelser i såvel fremstillings- som driftsfasen.

Isolerede gryder

Energiforbruget til madlavning på kogeplade i det danske husholdninger kan reduceres yderligere ved at anvende isolerede eller dobbeltvæggede elgryder. Sådanne gryder er imidlertid ikke omhandlet i denne analyse.

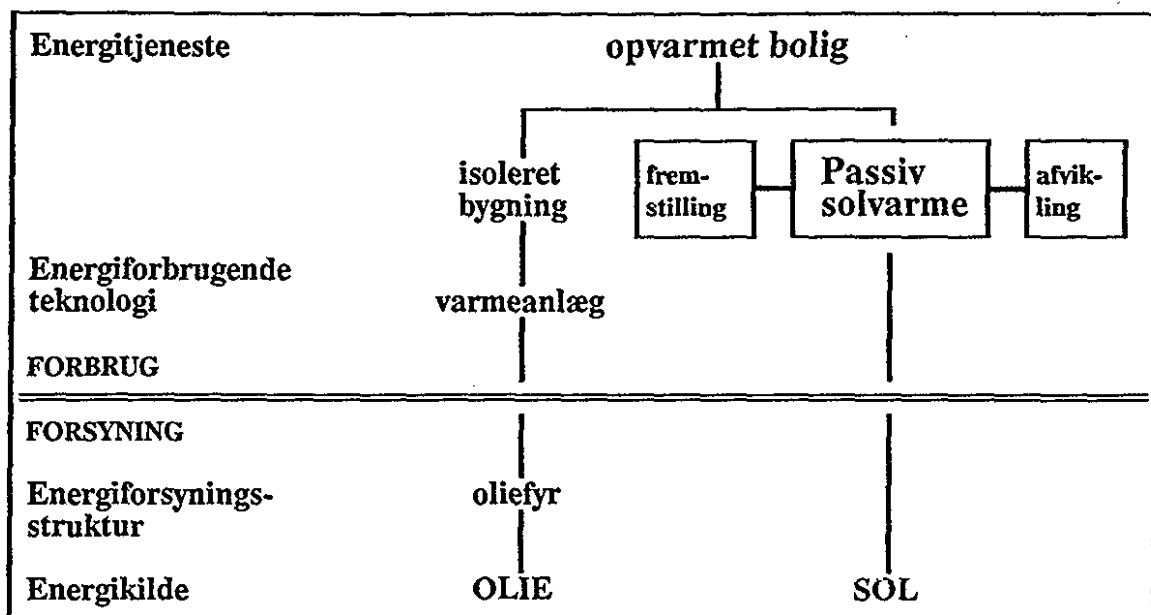
Aluminium energitungt

Den gryde, der er anvendt i denne livsforløbsanalyse, har et forholdsvis stort energiindhold, fordi den er fremstillet af det meget energiintensive materiale: aluminium. Det vil derfor være muligt at fremstille elgryder med et betydeligt lavere energiindhold end den her omhandlede (f. eks. ved anvendelse af stål).

6.5 Passiv solvarme i etageejendomme

Passiv solvarme vil sige en bevidst udnyttelse af solindfaldet i bygninger, til reduktion af opvarmningsbehovet. I eksisterende byggeri gøres det ved at inddække en del af bygningen med glas. Hermed nedsættes varmetabet fra bygningsdelen, samtidig med at varmen fra solstrålingen kan akkumuleres i vægge, gulve mm.

I figur 6.5.1 er vist, hvordan et passivt solvarmeanlæg indgår i energisystemet.



Figur 6.5.1

Placeringen af et passivt solvarmeanlæg i energikæden for opvarmning.

Altaninddækning

I det følgende undersøges en altaninddækning, en såkaldt altanfront fremstillet af firmaet Dansk Lukningsentreprise i Ølstykke. Der er tale om en nogenlunde standardiseret altanfront fremstillet i aluminium og enkeltlagsglas.

6.5.1 Fremstilling

Materialeforbrug

Materialeforbruget opgøres pr. vandret løbende facademeter. Der regnes med en etagehøjde på 2,8 m. Figur 6.5.2 viser således materialeforbruget pr. 2,8 m².

15-17 kg aluminium (der regnes med 16 kg), til skelet
 0,75 m² 1 mm aluminiumsplade = 2 kg aluminium
 0,6 m² laminatplade
 7 m gummibånd i syntetisk gummi, 1,5 cm² = 1,2 kg
 8 stk. montageankre i galvaniseret stål, 150*200*6 mm = 11,3 kg
 1 m² 6 mm hærdet glas
 0,7 m² 4 mm glas

Figur 6.5.2

Materialeforbrug til fremstilling af altanfront.

Energiforhold

Energiforbruget indeholdt i materialerne er beregnet i figur 6.5.3 ud fra værdierne i afsnit 6.1.

18 kg aluminium	828 kWh
<i>glas</i>	
1 m ² *0,006 m*2500 kg/m ³ glas	78 kWh
0,7 m ² *0,004 m*2500 kg/m ³	36 kWh
<i>galvaniseret stål:</i>	
11,3 kg stål	79 kWh
galvanisering: 11,3 kg*0,6 kWh/kg (1)	7 kWh
1,2 kg syntetisk gummi	22 kWh
glasfiber: energiindholdet negligeres	
I alt	1050 kWh

(1) ref. 6.5.1

Figur 6.5.3

Energiforbrug til fremstilling af altanfront.

Samlede energiforbrug

Det samlede energiforbrug til fremstilling af denne altanfront bliver således 1050 kWh pr. løbende facademeter, eller 375 kWh/m². Dette gælder den del af inddækningen, der løber parallelt med facaden, dvs. at oven i kommer enderne. En meget almindelig altanstørrelse er 1,20 m gange 2,40 m. Det varierer dog meget, således at bredden kan være fra 2 til 7 m. Vi bruger her en bredde på 2,40 m og en dybde på 1,20 m. Lukningen af enderne bidrager herefter med 100 % ekstra materialeforbrug. Det samlede energiforbrug til fremstilling bliver så:

750 kWh/m²

Arbejds miljø

Virksomhedens og underleverandørernes arbejdsmiljø har ikke været undersøgt.

Transportenergi negligibel

Transport

En transport af hele anlægget på 75 km, vil give et energiforbrug på omkring 1 kWh, hvis der regnes med det gennemsnitlige specifikke energiforbrug for godstransport på vej i 1986 (ref.6.5.3). Vi ser bort fra transportenergiforbruget i den videre analyse.

6.5.2 Drift

Varmebesparelse

Energiforhold

Den varmebesparelse som altanfronten giver, vil her blive betragtet som en varmeproduktion. Varmebesparelsen er sammensat af en udnyttelse af solvarme og reduceret varmetransmission gennem klimaskærmen som følge af den isolerende effekt af det ekstra lag glas. Besparelsen ved passiv solvarme afhænger af mange forhold. De vigtigste faktorer er:

Faktorer

- den eksisterende murs isoleringsevne
- murens orientering i forhold til syd
- hvor meget skygge der er på muren
- hvor meget vinduesareal der inddækkes

Dertil kommer, at passiv solvarme er følsomt overfor beboernes måde at bruge inddækningen på.

3 eksempler

Besparelsesvariation og -størrelsesorden illustreres her vha. skøn fra ref. 6.5.2. Der regnes tre eksempler igennem: De bedst tænkelige forhold, de værst tænkelige forhold og et gennemsnitligt eksempel.

Eksempel 1

Den største besparelse opnås for et ældre hus, hvor 60 % af det inddækkede areal er vinduer. De inddækkede vinduers orientering er mod syd og der er ingen skygge fra træer og andre bygninger. Transmissionstabet er ca. 195 kWh/år pr. m², og besparelsen ca. 65 %, altså:

$$127 \text{ kWh/år pr. m}^2$$

Eksempel 2

Den mindste besparelse fås i et nyere hus, hvor 30 % af det inddækkede areal er vinduer. Det inddækkede areal har en dårlig orientering og skygges af træer og andre bygninger. Transmissionstabet er her ca. 115 kWh/år pr. m², og besparelsen ca. 20 %, altså:

$$23 \text{ kWh/år pr. m}^2$$

Eksempel 3

Et gennemsnitligt eksempel kunne være et ældre hus, hvor 40 % af det inddækkede areal er vinduer og gennemsnitlig forhold m.h.t. skygge og orientering. Transmissionstabet er ca. 165 kWh/år pr. m², og besparelsen er så:

$$74 \text{ kWh/år pr. m}^2$$

Det må understreges at disse tal er meget grove skøn, men de kan dog give en ide om størrelsesordenen af besparelserne.

Emissioner og miljøeffekter

Bortset fra eventuelle spejlingsgener, er der ingen belastning af miljøet ved brugen.

Levetid

Levetid

Den gennemsnitlige levetid skønnes til 30 - 40 år. Der er intet i vejen for at anlægget, med lidt vedligeholdelse, kan holde længere.

6.5.3 Afvikling

Energiforhold

Der regnes ikke med noget væsentligt energiforbrug ved afvikling af anlægget.

Genanvendelighed

Det gælder for aluminium, glas og stål, som er de væsentligste bestanddele, at de kan smeltes om og genanvendes. Smeltningen er forbundet med et energiforbrug, som dog er mindre end energiforbruget til produktion fra råvarer. Aluminium skal endvidere transporteres ud landet af for blive genanvendt.

Miljøeffekter

Såfremt genanvendelse som beskrevet ovenfor finder sted, begrænses miljøbelastningen ved afvikling, til forbrænding eller deponering af gummi og glasfiber.

Transport

Som ved etablering af anlægget kan energiforbruget til transport ved afvikling negligeres.

6.5.4 Samlet analyse

Fossil energifaktor

Fossil energifaktor

Med en levetid på 35 år, bliver energibesparelspotentialet i levetiden som vist i figur 6.5.4 for de 3 forskellige huseksempler. Energiforbruget til fremstilling er 754 kWh/m². Den fossile energifaktor beregnes som forholdet mellem den sparede energimængde og energiforbruget til fremstilling af teknologien, da der i dette tilfælde ikke er energiforbrug i drift- og afviklingsperioderne.

	Besparelse kWh/m ²	Fossil energifaktor
Eksempel 1	4445	5,9
Eksempel 2	805	1,1
Eksempel 3	2590	3,5

Figur 6.5.4

Energibesparelser i hele levetiden og fossile energifaktorer for de 3 forskellige eksempler med forskellige hustyper og placering af teknologi.

Sammenligning med oliefyr

De fossile energifaktorer skal sammenlignes med f.eks. årsvirkningsgraden for et oliefyr på 0,7. Det må understreges, at forholdet mellem besparelse og energiforbrug til fremstilling, som udtrykkes med den fossile energifaktor, afhænger meget af altansens bredde, idet lukningerne ikke bidrager til det inddækkede areal.

Ingen emissioner under drift

Miljømæssig vurdering

Anlægget har ingen emission under drift, og er i høj grad fremstillet af materialer, som kan genanvendes. Det vil typisk fortrænge olie eller naturgas, men kan også fortrænge kul- eller naturgasfyret kraftvarme. Der er i alle tilfælde tale om fossile energiteknologier med større eller mindre emissioner af miljøbelastende stoffer. På den baggrund må anlægget siges at være miljømæssigt fordelagtigt. Anvendelsen af glasfiber er dog problematisk, dels ved fremstilling dels ved destruktion.

Sparede emissioner

Anlægget vil resultere i nogle sparede emissioner fra det oprindelige opvarmningssystem. I dette tilfælde vil vi beregne hvilke emissioner, der spares, når opvarmningen foregår med oliefyr, emissioner jävnfør afsnit 6.10. Emissionerne fra fremstillingen af teknologier beregnes som værende med kul som energikilde og emissionerne fra dette er taget fra afsnit 6.9. De samlede emissioner for de tre forskellige huseksempler er vist i figur 6.5.5.

	Energiforbrug kWh/m ²	EMISSIONER i kg		
		CO ₂	SO ₂	NO _x
fremstilling	750	310	0,14	1,1
eksempel 1	- 4445	-1870	-3,5	-1,9
eksempel 2	- 805	- 330	-0,63	-0,33
eksempel 3	- 2590	-1090	-2,0	-1,1

Figur 6.5.5

Emissioner fra fremstilling og sparede emissioner fra drift af passiv solvarme, beregnet pr m² inddækket areal.

Kommentarer til figur

Af figuren ses, at eksempel 1 er en god løsning med hensyn til alle tre emissioner. Eksempel 3 er neutral overfor NO_x-emission og giver lavere samlede emissioner for de øvrige. Eksempel 2 er neutral over for CO₂-emission og giver højere NO_x-emission, og er derfor tvivlsom om det kan betragtes som renere teknologi. Det er dog de samme antydninger, som beregning af den fossile energifaktor giver.

Ændre materialevalg

Renere teknologi

Som det ses af udregningerne tegner fremstillingen af aluminium for det store energiforbrug, og energifaktoren kan således blive bedre ved brug af mere energilette materialer, som f.eks. stål, træ, eller aluminium fremstillet på basis af en stor andel recirkuleret aluminium. Der er desuden store variationer i energifaktoren og de forventede sparede emissioner fra hus til hus, hvilket bør tages i betragtning ved vurderingen. Endelig bør det tilstræbes, at man laver inddækningen så bred som muligt, for at minimere materialeforbruget i forhold til det inddækkede areal.

Disse betragtninger gælder når man alene betragter passiv solvarme som en energiteknologi. Der er imidlertid ingen glastilbygninger og inddækninger, som bliver opført alene med det formål at spare energi. Disse glastilbygninger skal ses som en kvalitetsforbedring og udvidelse af boligen. Det skal også nævnes, at en del glastilbygninger bliver opført i forbindelse med renovering af bygningen, og fremover er med til at spare vedligeholdelse af facaden. Denne besparelse er ikke medregnet her.

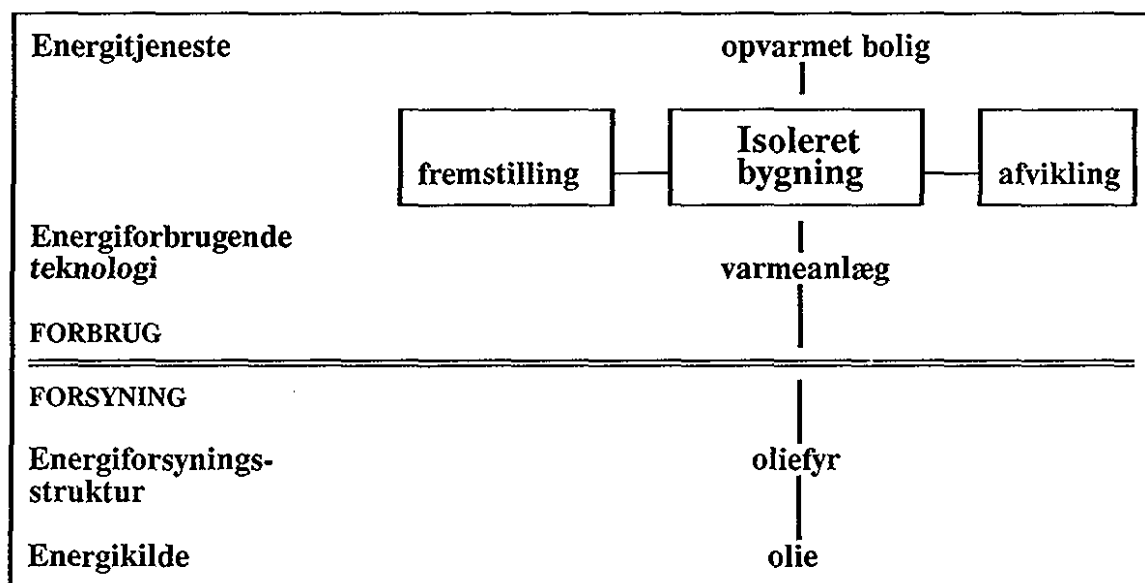
6.6 Bygningsisolering

Formålet med denne analyse er at belyse de energimæssige konsekvenser ved en forbedring af isoleringsstandarden af bygninger, ved hjælp af mineraluld. Der betragtes to isoleringsstandarder, byggeri efter BR-S 85 og lavenergihuse. Lavenergihuse er betegnelsen for huse der har et nettoenergiforbrug til opvarmning og ventilation på det halve af et hus opført efter BR-S 85. Dertil hørende isoleringsstandarder er beskrevet i Forsyningskataloget (ref. 6.6.1).

Parcelhus

Beregningen laves for et etplans parcelhus med et bebygget areal på $(9 \cdot 14) \text{ m}^2 = 126 \text{ m}^2$ (bruttoetageareal). Det forudsættes at de forskellige isoleringsstandarder ikke giver anledning til ændringer i selve konstruktionen. Vinduerne ændres enten fra 2-lags ruder til 2-lags lavemissionsruder eller til 3-lags ruder. Dette medfører ikke nævneværdige ændringer af energiindholdet (ref. 6.6.2). Gulvene antages lavet over en krybekælder, hvorved vi kan forenkle beregningerne til kun at omfatte mineraluldisolering. Loftet isoleres vandret.

I figur 6.6.1 er illustreret med en energikæde, hvordan bygningsisolering indgår i energisystemet.



Figur 6.6.1

Eksempel på en energikæde, hvor bygningsisolering indgår.

Når nettoenergi omregnes til bruttoenergi inddrages konverteringstab. Det gøres ved indførelse af virkningsgrader for henholdsvis, konverteringen til el (27%, jf. afs. 6.9) og konverteringen ved oliefyret opvarmning (70%, jf. afs. 6.10).

6.6.1 Fremstilling

Mineraluldsisolering

Materialer

Mineraluldsisolering er lavet af sten, for stensuldens vedkommende, og sand, kalk, soda, glaubersalt, for glasuldens vedkommende. Ved fremstilling af stensuld kommer ca. 90% af råmaterialet ud som stensuld, mens det resterende, en jernholdig slagge, depone-res. Under fremstillingen tilsættes et phenolholdigt bindemiddel, der omdannes til bakelit. Bindemidlet har udgjort risiko for nedslivning fra et depot med uhærdet mineraluld (ref. 6.6.2). Under fremstilling emitteres: phenol, formaldehyd, ammoniak, svovl, tungmetaller, etc, hvilket bl.a. kan medføre lugtgener i umiddelbar nærhed af fabrikken. Når materialet sættes op finder en opskæring ofte sted, hvorved luftens indhold af fibre forøges. Det kan specielt være et problem ved efterisolering, hvor opskæringen måske finder sted i dårligt ventilerede rum.

Isoleringsarealer og -tykkelser

Energi

Der angives kun energiforbruget til fremstilling af materialer, idet ekstra energiforbrug på byggepladsen negligeres. Isoleringsarealerne er beregnet ved et vinduesareal på 15% af bruttoetagearealet (19m²) (det maksimalt tilladte (ref. 6.6.5)) og loftsisoleringen til yderste isoleringskant. Mineraluldsisoleringens varmeledningsevne er sat til 0,04 W/méC.

	Isoleringsstykker		Isoleringsareal (m ²)
	BR-S 85 (m)	Lavenergi (m)	
loft	0,20	0,35	120
ydervægge	0,10	0,25	95
gulv	0,15	0,25	110

Figur 6.6.2

Isoleringsstykker for byggeri efter BR-S 85 og lavenergi standard samt isoleringsarealerne for det aktuelle hus

Energiindhold

For at efterisolere huset efter BR-S 85 til lavenergi standard kræver det en ekstra mineralulds mængde på 43 m³, og i følge afsnit 6.1 er energiindholdet i denne mængde, og dermed den ekstra energimængde der skal til at efterisolere huse, lig med 6800 kWh.

6.6.2 Drift

Energibesparelse

Energi- og ressourceforbrug

Effekten af den forbedrede isoleringsstandard er et reduceret rumvarmebehov. Denne energitjeneste kan være tilvejebragt ved forskellige energiteknologier, men idag sker det oftest ved afbrænding af fossile brændsler.

nettoenergibesparelsen (ref.6.6.1) = 5250 kWh/år

Levetid

Principielt er isoleringens levetid uendelig, men besparelsen afhænger af funktionstiden. Levetiden af et parcelhus sættes her lig 50 år.

6.6.3 Afvikling

Afvikling sker når bygningen rives ned, eventuelt i forbindelse med renoveringsarbejde.

Genanvendelse

Genanvendelse af mineraluld er mulig, men finder idag kun sted i begrænset omfang. Virksomheden Rockwool genanvender således egne spildrester, hvilket er rentabelt pga. der ellers skal betales deponeringsafgift. Egentlig indsamling og genanvendelse kræver at materialet omhyggelig renses for fremmedlegemer. Det formodes at medføre omfattende foranstaltninger på arbejdsmiljøområdet. Det må ses i lyset af, at man hidtil ikke har haft forureningsproblemer i forbindelse med deponering af færdigproduceret mineraluld (ref. 6.6.3). Indsamling af mineraluld til genbrug kræver desuden energi, hvilket må inddrages i en vurdering.

6.6.4 Samlet analyse

Energifaktor

Energifaktoren

Energifaktoren beregnes som forholdet mellem den sparede energimængde i levetiden og merenergiforbruget til fremstilling, drift og afvikling af teknologien.

$$\text{Energifaktor} = \frac{50 \text{ år} * 5250 \text{ kWh/år}}{6800 \text{ kWh}} = 39$$

Energitilbagebetalingstid

Energiindholdet i mineralulden bliver, over 50 år, tjent ind mindst 39 gange, afhængig af opvarmningsteknologien.

Varmeenergien er hovedsagelig produceret ved fossile brændsler, hvilket gør det til en **fossil energifaktor**.

Opvarmningsform

Det er vigtigt at bemærke den anvendte opvarmningsteknologi, idet der er et meget større primærenergiforbrug forbundet med elopvarmning. Dette illustreres ved sammenligning af referen-
cehuset opvarmet med olie og lavenergihuset opvarmet med el.

olieopvarmet BR-S 85 hus :

nettoenergiforbrug (ref. 6.6.1)	- 111 kWh/år/m ²
konverteringens virkningsgrad	- 0,70
primærenergiforbrug	= 20 MWh/år

elopvarmet lavenergihus :

nettoenergiforbrug (ref. 6.6.1)	- 69 kWh/år/m ² .
konverterings virkningsgrad	- 0,27
primærenergiforbrug	= 32 MWh/år

Elvarme problematisk

Lavenergihusets nettoenergiforbrug til rumvarme og brugsvand reduceres med ca. 30%, men primærenergiforbruget øges med 60%. Forudsat elektriciteten er leveret fra et kondensationsdrevet kraftværk (dvs. uden fjernvarmeudnyttelse). Det understreger det problematiske i at anvende elvarme til rumvarmeformål. Elopvarmning bør, i helårshuse, kun ske i forbindelse med en varmepumpe eller som supplement til et solvarmeanlæg.

Sparede emissioner

Miljømæssig vurdering

Anlægget vil resultere i nogle sparede emissioner fra opvarmningssystemet. I dette tilfælde vil vi beregne hvilke emissioner, der spares, når opvarmningen foregår med oliefyr, emissioner jævnfør afsnit 6.10. Emissionerne fra fremstillingen af teknologier beregnes som værende med kul som energikilde og emissionerne fra dette er taget fra afsnit 6.9. De samlede emissioner for fremstilling og drift er vist i figur 6.6.3.

	Energiforbrug MWh	EMISSIONER		
		CO ₂	SO ₂	NO _x
fremstilling	6,8	8,5 t	3,7 kg	29 kg
drift i 50 år	- 262,5	-110 t	-204 kg	-110 kg

Figur 6.6.3

Emissioner fra fremstilling af isolering og sparede emissioner fra drift af efterisoleret hus.

Miljømæssig gevinst

Ud fra figuren kan det konstateres at sammenlagt vil den ekstra isolering af huset være en stor miljømæssig gevinst, idet emissionerne fra fremstilling af materialerne er meget små i forhold til de sparede emissioner fra drift. Dermed viser både emissionsberegningerne og energifaktoren at det er en god ide både energimæssigt og miljømæssigt at isolere kraftigt. Hvilken tykkelse der vil være optimal både miljø- og energimæssigt er ikke blevet undersøgt i denne forbindelse.

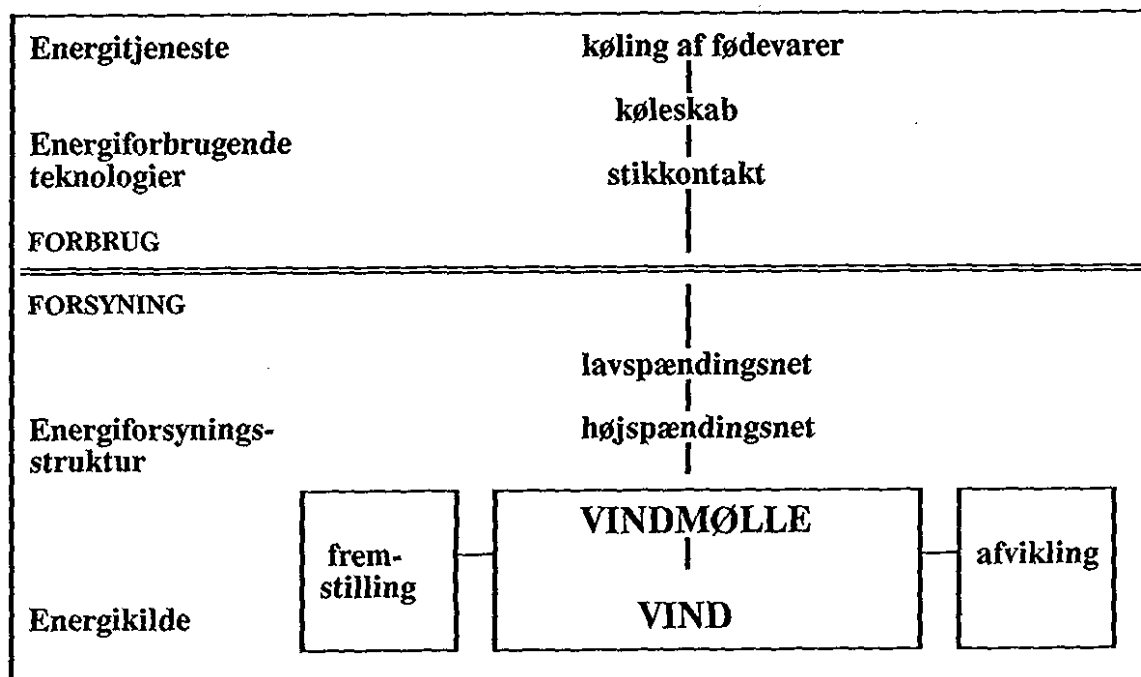
6.7 Vindmøller

150 kW-vindmølle

I det følgende analyseres energi- og materialestrømme, for en 150 kW-vindmølle, som er placeret på landjorden. Analysen omhandler hele møllen - vinger, møllehat, rørtårn og fundament - men medregner ikke eltilslutning o.lign.

I analysen gennemgås de forskellige dele af vindmøllens liv; fremstilling, drift og afvikling. På basis af disse tre dele vurderes vindmøllen i hele dens livslængde, i forhold til den energitjeneste den har forsynet os med i driftfasen.

I figur 6.7.1 er vist et eksempel på en energikæde, hvori en vindmølle indgår.



Figur 6.7.1

Eksempel på en energikæde hvor en vindmølle indgår.

6.7.1 Fremstilling

Materialer

Møllen består - groft opdelt - af materialer, som angivet i figur 6.7.2.

Vinger	-	2280 kg glasfiber
Kabine	-	90 kg glasfiber
Maskinhus	-	1051 kg varmegalvaniseret, svejst stål
Rørtårn	-	7700 kg varmegalvaniseret, svejst stål
Fundament	-	27 m3 beton og 2100 kg armeringsstål (varmegalv.stål)
Diverse (fx. gear, generator, bremse)	-	5279 kg forarbejdet stål

Figur 6.7.2

Materialeforbrug til vindmøllen

Andre materialer, som kobber og plastic til ledninger, maling, bremsevæske, olie o.lign. antages at være uden væsentlig betydning.

Energiindhold

Energiindhold

Figur 6.7.2 angiver energiforbruget til fremstilling af materialerne og forarbejdning, tallene inkluderer galvanisering og svejsning. Energiindhold og energiforbrug til den videre forarbejdning af delene til maskinhuset er hentet fra afsnit 6.1.

Vinger	-	16.000 kWh
Kabine	-	1.000 -
Maskinhus	-	10.000 -
Rørtårn	-	77.000 -
Fundament	-	38.000 -
Diverse	-	70.000 -
Ialt :		212.000 kWh

Figur 6.7.3

Energiregnskab - primærenergiforbrug ved fremstilling af vindmølle

Mest stål

Ressourcer

Over 7/8 af ressourceforbruget til møllen, både vægt- og energimæssigt, er stålforbruget. Fremstillingen af stål er i Danmark baseret på omsmeltning af gammelt skrot - der suppleres kun med ca 10% råstål. Energiforbruget til produktionen, og den senere bearbejdning, er hovedsaglig i form af el.

Arbejds miljø

En egentlig analyse af miljøproblemer ved fremstillingen er for omfattende for dette projekt, men det skal dog nævnes, at stålproduktion ud fra skrot frigiver en mængde miljøskadelige stoffer, som kræver omfattende sikkerhedsforanstaltninger, både mht. arbejdsmiljøet og udledning/deponering af restproduktet. Ligeledes kan glasfiberproduktionen give problemer med arbejdsmiljøet, ved hærdeningen afgives polystyren-dampe (organisk opløsningsmiddel) som kan give hjerneskader. Efterhånden sker fremstillingen af vingerne dog hovedsaglig maskinelt.

6.7.2 Drift

<i>Ingen emissioner</i>	Energi- og ressourceforbrug Vindmøllen konverterer vindens kinetiske energi til elektricitet uden nogen form for hjælpeenergi- og ressourceforbrug (elforbruget til styring og olieforbruget til smøring er forsvindende lille). Der er ingen restprodukter fra driften.
<i>Visuelle gener ?</i>	Miljøeffekter Som nævnt er der ingen restprodukter som følge af produktionen, der er derfor ingen direkte miljøeffekter ved udledning af miljøskadelige stoffer. Men da vindmøllen - af gode grunde - placeres fritstående i landskabet, kan man diskutere de visuelle gener (eller glæder). Nogle mener at vindmøller skæmmer landskabet, hvorimod andre glæder sig over synet af en vindmølle.
<i>Støj</i>	Der er støjproblemer fra gear og møllevinger på vindmøllerne men hovedparten af møllerne på det danske marked overholder idag de fastsatte støjgrænser i forhold til nærmeste naboer.
	Arbejdsmiljø Der er ingen arbejdsmiljømæssige problemer ved drift af møllen.
<i>Levetid</i>	Levetid Levetiden for vindmøllen angives af fabrikanten til 20-40 år. I det følgende regnes med 25 år.

6.7.3 Afvikling

	Energi- og ressourceforbrug Nedrivning og borttransport af møllen vil ikke medføre et væsentligt energi- eller ressourceforbrug.
<i>Stål genanvendes</i>	Genanvendelighed Vindmøllen vil sandsynligvis være udtjent efter de 25 år, alle de mekaniske dele vil være nedslidte. Det vil således ikke være aktuelt med en egentlig renovering af møllen med henblik på videre drift. Glasfiberen kan - så vidt vides - ikke genanvendes. Størstedelen af møllen, nemlig stålet, kan derimod omsmeltes og bruges igen.
	Miljøeffekter Der vil ikke være nogle egentlige miljøproblemer (udledning af miljøskadelige stoffer) forbundet med deponering af betonen, men afbrænding af glasfiber udvikler miljø- og sundhedsskadelige gasser. Genanvendelsen af stålet kan medføre udledning af miljøskadelige stoffer, tungmetaller fra maling og zinkforbindelser fra det varmegalvaniserede stål.
	Arbejdsmiljø Selve nedrivningen af møllen vil ikke medføre nogle arbejdsmiljøproblemer ved håndtering af materialerne, men den videre behandling, afbrænding eller omsmeltning, kræver effektive sikkerhedsforanstaltninger.

6.7.4 Samlet analyse

Total miljøbelastning

Hvis vi skal vurdere vindmøllen i RT-sammenhæng, må vi se på den totale miljøbelastning møllen har forårsaget gennem hele sin livslængde. Denne miljøbelastning kan vi sammenholde med den energitjeneste møllen har udført, og samtidig sammenligne med andre produktionsteknologier.

Fossil energifaktor

En miljømæssig vurdering af vindmøllens samlede livsforløb kan udtrykkes ved den fossile energifaktor. Denne er defineret som forholdet mellem vindmøllens energiproduktion i kWh el og det samlede energiforbrug til fremstilling, drift og afvikling (omregnet til primær energi).

		El-produktion
Ruhedsklasse	0	529.000 kWh
-	1	395.000 -
-	2	315.000 -
-	3	197.000 -

Figur 6.7.4

Vindmøllens årsproduktion for forskellige ruhedsklasser

Vindmøllen vil i sin levetid producere 7,9 GWh (ruhedsklasse 2). Den fossile energifaktor bliver således

$$7.900 \text{ MWh} / 212 \text{ MWh} = 37$$

Fortrængning af fossile brændsler

At den fossile energifaktor for en vindmølle er større end én, betyder i realiteten at den vil fortrænge afbrænding af de fossile brændsler. Den producerer mere energi end den kræver til hele livsforløbet.

Energiltilbagebetalingstid

Såfremt den el, som vindmøllen producerer, skulle være fremstillet på et kulfyret kondenskraftværk med en brændselseffektivitet på 0,29 (jf. afs. 6.9) ville kulforbruget være på 27 GWh. Vindmøllen vil derfor spare afbrændingen af 130 gange så meget fossilt brændsel, som den kræver til fremstilling, drift og afvikling (se figur 6.7.5). Dette vil betyde en væsentlig fortrængning af SO₂, NO_x- og CO₂-emissionen. Og da der gennem analysen af hele livsforløbet ikke er peget på nogle væsentlige miljøproblemer, må helhedsvurderingen være, at så længe vores energiproduktion er baseret på fossile brændsler kan vindmøllen byde på en væsentlig miljøforbedring.

Miljøforbedrende

	Vindmølle	Kulkraftværk	Fortrængning
Elproduktion	7.900 MWh	7.900 MWh	-
Fossilt brændselsbehov	212 MWh	27.240 MWh	27.000 MWh
Emission			
- SO ₂	40 kg	14 ton	14 ton
- NO _x	0,3 ton	108 ton	108 ton
- CO ₂	87 ton	31326 ton	31237 ton

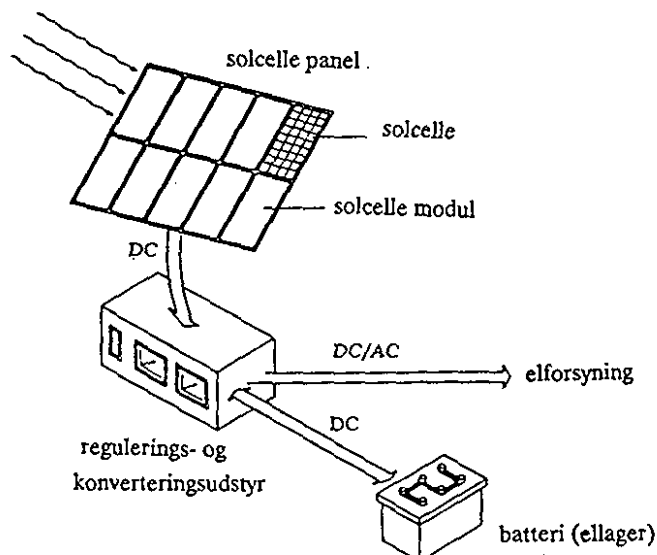
Figur 6.7.5

Fortrængning af miljøskadelige stoffer ved elproduktion ud fra vind fremfor kul, fossilt brændselsbehov og emissionsopgørelse, jvf. afsnit 6.9.

6.8 Solceller

Beskrivelse af solceller

I en solcelle omdannes sollys direkte til elektrisk strøm, uden emissioner i driftsfasen. Da en solcelle er en yderst enkel komponent uden bevægelige dele kan den nemt sammensættes med andre celler til moduler og paneler i alle størrelser. Solceller kan derfor anvendes til elproduktion i såvel lille som stor skala lige fra små milliwatt anlæg (f.eks. til armbåndsure og lommeregner) til store megawatt elforsyningssystemer. I figur 6.8.1 er vist en principtegning for et større solcelleanlæg.



Figur 6.8.1
Principskitse for solcelleanlæg (fra ref. 6.8.6)

Forskellige typer af solceller

Der forskes idag i mange typer af solceller, men de mest lovende solcelletyper er baseret på silicium (ref 6.8.1). Vi vil derfor her indskrænke os til at se på følgende typer af solceller der alle bygger på grundmaterialet silicium:

- solceller baseret på monokrystallinsk silicium
- solceller baseret på polykrystallinsk silicium
- solceller baseret på amorph silicium

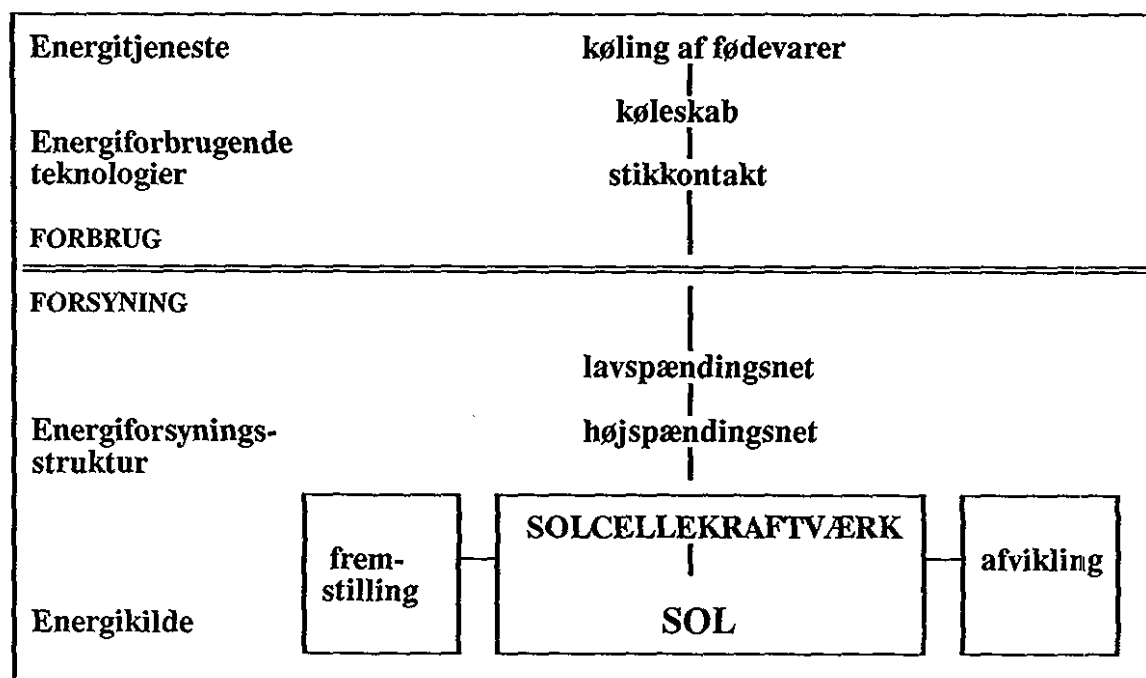
Markedsandele

Monokrystallinske solceller har indtil midten af firserne været de dominerende på markedet, men polykrystallinske og amorfe solceller har i de senere år fået stor udbredelse. Amorfe solceller anvendes idag fortrinsvis til lommeregner, ure o.l. Amorfe solceller udgør idag ca. en trediedel af verdensproduktionen af solceller. Der foretages i dag ingen produktion af solceller i Danmark.

Reference

Denne livsforløbsanalyse er delvist foretaget på baggrund af oplysninger fra ref. 6.8.2. I referencen opgøres energiforbruget til fremstilling af et mindre solcellekraftværk (installeret effekt på 300kW_p ved fuld solindstråling) for de ovenfor nævnte solcelletyper. Da oplysninger om energiindholdet altså er tilgængelige vil denne livsforløbsanalyse ikke indeholde en detaljeret opgørelse af materiale- og energiforbrug. Materialeforbruget vil kun blive nævnt i det omfang, det giver anledning til miljømæssige problemer.

Et solcellekraftværk vil indgå i energikæden som vist i figur 6.8.2.



Figur 6.8.2

Eksempel på en energikæde hvor et solcellekraftværk indgår.

6.8.1 Fremstilling.

Silicium

Grundstoffet silicium, der er den vigtigste bestanddel i langt de fleste solceller, der produceres i dag, forefindes i store mængder på jorden i form af sand sten o.l. Til solcelleproduktion anvendes silicium af en meget stor renhed. Det er derfor nødvendigt at gennemføre en række yderst energikrævende raffineringsprocesser, for at få et udgangsmateriale af en tilstrækkelig kvalitet. Af dette udgangsmateriale, der er af polykrystallinsk natur, foretages dyrkningen af monokrystallinsk silicium eller det anvendes direkte i den polykrystallinske form.

Monokrystallinske solceller

Fremstilling af monokrystallinske solceller.

Monokrystallinske solceller fremstilles på basis af en uhyre ren og ensartet silicium krystal, der dyrkes i en stang ved hjælp af en energikrævende proces (Czochralski proces). Den lange krystalstang udskæres i tynde skiver, hvorved en stor del af materialet går tabt. Herefter konstrueres selve solcellen ved anvendelse af forskellige ætse- og diffusionsprocesser (typisk diffusion af bor og fosfor i henholdsvis for- og bagsiden af siliciumskiven), samt ved etablering af et kontaktmønster på cellen. De enkelte solceller sammenloddess og indkapsles mellem et lag glas på forsiden og et lag glas eller plastik på bagsiden. Endelig placeres de indkapslede solceller i en ramme af aluminium eller galvaniseret rustfrit stål. Til opstilling af solcellemodulerne anvendes stativer ligeledes af aluminium eller galvaniseret rustfrit stål. Figur 6.8.3 viser de mest grundlæggende trin i solcellefremstillingen. Solceller baseret på monokrystallinsk silicium udmærker sig ved en rimelig høj effektivitet og en god reproducerbarhed.



Figur 6.8.3

Fremstilling af solceller på basis af monokrystalinsk silicium.

Polykrystallinske solceller

Fremstilling af polykrystallinske solceller.

Ved fremstillingen af polykrystallinske solceller undlades dyrkningen til monokrystalinsk silicium. Herved spares en dyr og energikrævende proces. Ved de traditionelle fremstillingsprocesser formes det smeltede siliciummateriale i en stang (ofte firkantet) og udskæres i skiver. Herfra adskiller fremstillingsprocessen sig ikke væsentligt fra den ovenfor skitserede. Solceller baseret på polykrystallinsk silicium har en lidt lavere effektivitet end monokrystallinske solceller.

Amorfe solceller

Fremstilling af amorfe solceller

Ved fremstilling af solceller baseret på amorft silicium dyrkes en uhyre tynd silicium solcelle direkte på en glas- eller metalplade. Den dyrkede tyndfilm er ikke nogen krystal og kan ikke fungere, medmindre en vis procentdel brint indgår i den atomare opbygning. Solceller af amorft silicium har en dårligere virkningsgrad og betydelig kortere levetid end andre solceller. Der sker dog en meget kraftig udvikling indenfor dette område.

Energiforbrug til fremstilling

Energiforbrug

Energiforbruget til fremstilling af solcellekraftværker fremgår af figur 6.8.4. Energiforbruget er opgjort på basis af oplysninger fra vesttyske solcelleproducenter og deres underleverandører. I energiforbruget er inkluderet alle led fra udvinding af råmateriale til indkapsling af solcellerne i et modul. Energiforbrug til fremstilling af stativ og opstilling af panelerne er endvidere inkluderet. Ved omregning af elektrisk energi til primærenergi er anvendt en elvirkningsgrad på 29% (som beregnet i afsnit 6.9). Denne virkningsgrad adskiller sig fra den, der anvendes i reference 6.8.2, (hvor der anvendes en elvirkningsgrad på 40%), hvilket i sagens natur ændrer resultatet af analysen. Ved omregning af øvrigt energiforbrug (procesvarme, transport mm) er en virkningsgrad på 0.85 anvendt (denne værdi er også anvendt i reference 6.8.2). I tabellen vises energiindholdet i mono- og polykrystallinske og amorfe solceller fordelt på de væsentligste procestrin.

Konverteringsfaktorer

Energiforbrug til solcellefremstilling (fossil energi)			
Procestrin			
	mono- krystallinsk (kWh/m ²)	poly- krystallinsk (kWh/m ²)	amorf (kWh/m ²)
silicium- skiver	1820	1520	-
diffussion m.m. kontaktmønster	720	730	-
samling i moduler	740	370	630
stativer m.m.	540	540	410
Totalt	3820	3160	1040

Figur 6.8.4

Energiindhold (angivet i primær energi) i solceller fordelt på procestrin (på basis af ref. 6.8.2).

*Materialeforbrug til mono-
og polykrystallinske solceller*

Energiforbruget er opgjort per kvadratmeter solceller ikke per kvadratmeter solcellemodul. Der er ved fremstilling af både de mono- og polykrystallinske anvendt siliciumskiver af en tykkelse på 450 mikrometer. Ved indkapsling i moduler er der til de monokrystallinske celler anvendt 1 lag 4 mm glas, to lag plast (etylen-vinyl-acetat) og et lag aluminiumsbelagt folie. Til de polykrystallinske celler er der anvendt 2 lag 2 mm glas og to lag plast (ligeledes etylen-vinyl-acetat). Ved begge modultyper er der anvendt aluminiumsrammer.

Amorfe solceller

Ved fremstilling af solcellemoduler af amorft silicium er produktionen af solcellen integreret med indkapslingsprocessen idet et tyndt lag af silicium (mindre end 1 mikrometer) udfældes direkte på en glasplade, der anvendes til indkapsling.

Kommentar til figur

Af figuren ses at størstedelen af energiforbruget til fremstilling af solceller på basis af mono- og polykrystallinsk silicium går til produktion af siliciumskiverne (godt 40%). At der til indkapsling af de monokrystallinske celler anvendes mere energi end til indkapsling af de polykrystallinske skyldes først og fremmest at der er anvendt tykkere glasplader og et lag aluminiumsfolie. Det skyldes at livsforløbsanalysen er udført for fabrikker der anvender denne indkapslingsteknik. Det er imidlertid muligt at anvende samme indkapslingsteknik til poly- og monokrystallinske solceller.

Tyndere siliciumskiver

Energiforbruget til fremstilling af solceller er gennem de senere år specielt forsøgt nedsat ved at reducere siliciumforbruget. Siliciumforbruget kan nedsættes ved at anvende tyndere siliciumskiver og ved at mindske spildet ved udsavningen. Tallene i figur 6.8.4 er som tidligere nævnt baseret på anvendelse af siliciumskiver med en tykkelse på 450 mikrometer til fremstilling af de

poly- og monokrystallinske solceller. Flere fabrikker anvender allerede på nuværende tidspunkt tyndere siliciumskiver i produktionen (250-300 mikrometer). Det er endvidere sandsynligt, at det i løbet af få år bliver muligt, at producere endnu tyndere siliciumskiver (150-200 mikrometer). Herved kan energiforbruget reduceres væsentligt.

"Ribbon" eller "Sheet" silicium En anden metode til reduktion af siliciumforbruget er ved fremstilling af "ribbon" eller "sheet" silicium. Ved denne fremstillingsproces trækkes meterlange tynde (omkring 50-100 mikrometer) siliciumkrystaller ud af smeltet masse af silicium. Disse krystaller kan stort set uden spild udskæres til firkantede skiver og anvendes til fremstilling af solceller. Solceller af dette materiale er lidt mindre effektive end traditionelt fremstillede solceller, men det opvejes af lavere produktionsomkostninger (og et lavere energiforbrug). Fremstillingsmetoden er dog endnu ikke fuldt udviklet (ref. 6.8.7) på grund af problemer med defekter og spændinger i det fremstillede silicium, hvilket medfører lav reproducerbarhed.

Mono- og polykrystallinske solceller

Miljø - arbejdsmiljø

Ved fremstilling af solceller baseret på mono- og polykrystallinsk silicium anvendes forskellige stoffer med ætsende egenskaber (ref. 6.8.5) f. eks. hydrogenperoxid (brintoverilte). Hydrogenperoxid virker irriterende på hud, øjne og luftveje. Indåndning af hydrogenperoxid i høje koncentrationer kan give alvorlige lunge-skader (ref. 6.8.4). Der kan endvidere afgives giftige gasser ved sammenlodning af solcellerne og ved indkapslingsprocessen. Ved indkapslingen af solcellerne til færdige moduler opvarmes glas- og plast lagene så de hælder sammen til en konstruktion af stor styrke. Som plastlag anvendes ofte etylenvinylacetat, som ved opvarmning afgiver opløsningsmidlet vinylacetat. Vinylacetat virker irriterende på øjne og slimhinder og kan give anledning til hjerne- og fosterskader (ref. 6.8.4).

Amorfe solceller

Ved fremstilling af amorfe solceller anvendes flere særdeles giftige gasarter f. eks. arsin (AsH_3), diboran (B_2H_6) og fosfin (PH_3). Endvidere er flere af gasserne f. eks. silan selvantændelige ved stuetemperatur og f. eks. diboran reagerer eksplosivt ved kontakt med luft. Produktionen af amorfe solceller foregår derfor i lukkede kamre. I tilfælde af utætheder i systemet og uheld er der stor risiko for akut forgiftning af medarbejdere og forurening af det omgivende miljø. Flere af gasarterne er ved langtidspåvirkning sygdomsfremkaldende for koncentrationer på nogle få ppm og selv under normale driftsforhold kan der opstå problemer med arbejdsmiljøet. Under produktionsprocessen sker der en udfældning af siliciumfluorider og hydrider på væggene i det lukkede kammer. Under rengøring af disse vægge kan arbejdere bl. a. pådrage sig silicose. De fjernede siliciumforbindelser skal endvidere deponeres under kontrollerede forhold. En opgørelse over farlige stoffer og risikomomenter ved fremstilling af amorfe solceller findes i ref. 6.8.5.

6.8.2 Driftsfasen

Energiforbrug negligeres

Energi- og ressourceforbrug

Solceller omsætter sollyset direkte til elektrisk energi uden forbrug af nogen form for ressourcer i driftsfasen. Den eneste form for vedligeholdelse, der kan komme på tale under normale driftsforhold er afvaskning af panelerne. Energi- og ressourceforbruget i driftsfasen kan derfor negligeres.

Ingen emissioner

Miljø - arbejdsmiljø.

I driftsfasen udsendes ingen emissioner fra solcellekraftværker, og de vil derfor ikke give anledning til hverken miljø- eller arbejdsmiljømæssige problemer under driften. Der kan dog være problemer i forhold til etablering af selve solkraftværket, her tænkes specielt på konflikter med fredningsbestemmelser, spejlingseffekter o.l.

Levetid og effektivitet

Levetid

Levetiden og effektiviteten for de forskellige solcelletyper fremgår af figur 6.8.5. Det ses at levetiden og effektiviteten for de amorfe solceller er betydelig lavere end for de andre celletyper. Effektiviteterne angivet i tabellen refererer til cellearealet. Tabelværdierne anvendes i beregningerne under den samlede analyse.

Solcelletype	levetid (år)	effektivitet (%)
Amorf	5	6
polykrystallinsk	20	12
monokrystallinsk	20	14

Figur 6.8.5.

Levetider og effektiviteter for forskellige typer af solceller.

6.8.3 Afvikling

Energiforbrug negligeres

Energi- og ressourceforbrug

Der eksisterer ikke på nuværende tidspunkt nogle oplysninger om energi- og ressourceforbruget til afvikling af solcellepaneler, hvorfor vi ser bort fra dette i det følgende.

Genanvendelse

Miljøeffekter - genanvendelighed

Der vurderes ikke, at være nogle specielle miljøproblemer forbundet med afvikling af solcellepaneler. Flere af materialerne kan genanvendes f. eks. aluminiumsrammerne og stativerne. Der kan også være mulighed for at genanvende siliciumskiverne. Det er som regel kontaktmønstrets holdbarhed der er afgørende for levetiden (gælder ikke for amorfe solceller), og der er stor sandsynlighed for, at det kan repareres.

6.8.4 Samlet analyse

Fossil energifaktor

Fossil energifaktorer

Den fossile energifaktor beregnes for et solcellekraftværk som forholdet mellem elproduktionen i levetiden og energiforbruget til fremstilling, drift og afvikling (omregnet til primærenergi). Da vi ikke ved noget om energiforbrug til afvikling (hvorfor det negligeres) og der ikke er noget forbrug af fossile energikilder i driftsfasen, svarer det sidst nævnte til energiforbruget til fremstilling.

Livsforløbseffektivitet

Energifaktor - livsforløbseffektivitet

Energifaktoren eller livsforløbseffektiviteten beregnes som den ovenfor nævnte fossile energifaktor, dog med den forskel, at energiindholdet i solen medregnes i energiforbruget.

Solcellers elproduktion

Elproduktionen fra solceller i levetiden beregnes ud fra middel-indstrålingen i Danmark, der er ca. 1030 kWh/m² samt levetider og effektiviteter angivet i figur 6.8.5. Ved beregning af det substituerede forbrug af fossile brændsler anvendes en effektivitet for elproduktion på et kulfyret kraftværk på 29% (ab værk), svarende til effektiviteten i den nuværende elforsyningssystem (beregnet i afsnit 6.9). De beregnede energifaktorer fremgår af figur 6.8.6.

Energiforbrug og elproduktion i kWh/m ²	mono- krystallinsk	poly- krystallinsk	amorf
Energiforbrug i livsforløbet (fossil energi)	3820	3160	1040
Energiforbrug i livsforløbet (inkl. solenergi)	24420	23760	6190
Elproduktion i levetiden (kWh el)	2880	2470	1240
Elproduktion i levetiden (fossil energi)	9940	8520	1070
Energifaktor (livsforløbs- effektivitet)	0.12	0.10	0.05
Fossil energifaktor	0.75	0.80	0.30

Figur 6.8.6

Energiforbrug i livsforløbet, elproduktion i levetiden, elproduktionen omregnet til forbrug af fossile brændsler (primær energi), energifaktor og fossil energifaktor for forskellige typer solceller.

Stort energiforbrug til fremstilling

Af figur 6.8.6 ses at livsforløbseffektiviteterne er mindre end solcelleeffektiviteterne angivet i figur 6.8.5 (14% mindre for mono-krystallinske solceller og 17% mindre for amorf og polykrystallinske solceller). Dette viser at energiforbruget til fremstillingen af solcellerne, er af en sådan størrelse at det påvirker den samlede livsforløbseffektivitet. Der er derfor grund til at satse på at få energiforbruget til fremstillingen nedbragt.

Fortrængning af fossil energi

Af figur 6.8.6 ses endvidere at de fossile energifaktorer for de mono- og polykrystallinske solceller er af størrelsesordenen 2.5-3 gange større end for et kulfyret kraftværk (den fossile energifaktor for et kulfyret kraftværk beregnes i afsnit 6.9 til at være 0.29). Dette betyder at disse teknologier i løbet af deres levetid kan fortrænge 2.5-3 gange det forbrug af fossile brændsler, der anvendes til fremstillingen.

Den fossile energifaktor er størst for de polykrystallinske sol-

celler, men den er næsten lige så stor for de monokrystallinske. Det større energiforbrug til fremstilling af monokrystallinske solceller opvejes nemlig til dels af den større effektivitet, som resulterer i en større elproduktion.

- Energitilbagebetalingstid* Omregnes elproduktionen fra solcellekraftværket til fossil energi (talværdien fremgår af figur 6.8.6) og divideres med energiforbruget til fremstillingen fås en energitilbagebetalingstid på omkring 2.6 år for både mono- og polykrystallinske solceller.
- Fordobling af energifaktor* Ved anvendelse af tyndere siliciumskiver er det sandsynligt, at energiforbruget til fremstillingen af såvel mono- som polykrystallinske solceller kan reduceres med op imod 50% i løbet af få år (ref. 6.8.2), hvilket vil resultere i en fordobling af energifaktoren.
- Amorfe solceller* For de amorfe solceller er den fossile energifaktor 0.3, hvilket svarer til at de ikke mere end lige betaler den energi tilbage, der er anvendt til fremstillingen. Det meget lave energiforbrug til fremstilling af amorfe solceller kan altså ikke opveje den lave effektivitet og den begrænsede levetid. Amorfe solceller kan dog endnu ikke anses for fuldt udviklede, så det er absolut muligt at de på længere sigt kan få en betydelig højere energifaktor (ref. 6.8.8).
- Sydlige Europa* De beregnede energifaktorer er under forudsætning af danske indstrålingsforhold. I det sydlige Europa vil den årlige indstråling typisk være dobbelt så stor som i Danmark. Dermed vil energifaktoren i sagens natur blive fordoblet. I de mest solrige egne af verden er solindstrålingen op til tre gange større end i Danmark.
- Sparede emissioner* **Miljøeffekter - emissioner**
I figur 6.8.7 opgøres, hvor stor en mængde emissioner, der kan fortrænges ved elproduktion på et solcellekraftværk (med polykrystallinske solceller) fremfor et traditionelt kulfyret kraftværk.

	Solcelle- kraftværk	Kulfyret kraftværk	Fortrængning I alt per MWh	
Elproduktion (MWh)	6200	6200	-	--
Fossilt brændselsbehov (MWh)	7900	27200	19300	3.1
Emissioner				
SO ₂ (kg)	1500	3220	1720	0.28
NO _x (kg)	11100	24500	13400	2.3
CO ₂ (ton)	3240	7130	3890	0.63

Figur 6.8.7

Fortrængte emissioner ved elproduktion på et solcellekraftværk (polykrystallinske solceller) med en installeret effekt på 300kW_p.

Kommentar til figur

De i figuren anførte værdier er beregnet for et solcellekraftværk med en installeret effekt på 300kW_p , som i ref. 6.8.2. Dette svarer til et solcelleareal 2500 m^2 . Et sådant solcellekraftværk vil (i Danmark) have en elproduktion i sin levetid på 6200 MWh , med et forbrug af fossile brændsler på 7900 MWh (beregnet ud fra talværdier i figur 6.8.6). De tilhørende emissioner er beregnet som angivet i afsnit 6.9. Af figuren ses, at der fortrænges væsentlige emissioner af CO_2 , SO_2 og NO_x .

Flyveaske mm.

Emissionsberegningerne er udført for et kulfyret kraftværk med rørgrensning. Et solcellekraftværk sparer derfor endvidere en større mængde flyveaske (165 ton) og gips (170 ton) plus udledning af en række tungmetaller.

Mono- og polykrystallinske solceller

Renere teknologi

Solcellekraftværker baseret på solceller af *mono- og polykrystallinsk silicium* må absolut vurderes til at være en renere teknologi, da de i forhold til traditionelle produktionsmetoder (kulfyret kraftværk) giver anledning til udsendelse af betydeligt færre emissioner i hele livsforløbet. De vurderes endvidere ikke at give anledning til specielle arbejdsmiljømæssige ulemper under fremstilling eller afvikling. De arbejdsmiljøproblemer, der tidligere er omtalt er af en sådan type, at de kan løses med en passende udsugning på virksomheden.

Ikke konkurrencedygtige

Den fossile energifaktor for mono- og polykrystallinske solceller (0.75 og 0.8) er meget mindre end energifaktoren for vindmøller (37). Dette kan afspejle det forhold, at vindmøller idag er konkurrencedygtige i forhold til traditionelle elproduktionsteknologier, mens det samme ikke er tilfældet for solceller. Dette tyder på, at der er behov for at forøge energifaktoren for solceller, før de kan betragtes som et realistisk alternativ til de nuværende produktionsmetoder i stor skala. Solcellerne er dog allerede på nuværende tidspunkt favorable ud fra et miljømæssigt synspunkt.

Øget energifaktor

Energifaktoren for solcellekraftværker kan forøges ved at reducere energiforbruget til fremstilling og ved at forøge effektiviteten. Energiforbruget til fremstilling kan sandsynligvis reduceres i de kommende år, ved at anvende tyndere siliciumskiver, hvilket allerede gøres flere steder. En anden mulighed for at mindske energiindholdet i solcellerpaneler, er at anvende et mindre energiintensivt materiale end aluminium til indramning og stativer. En forøgelse af effektiviteten må også anses for realistisk på længere sigt.

Større solindstråling

Solcellekraftværker vil allerede på nuværende tidspunkt være meget fordelagtige ud fra et energi- og miljøsynspunkt i dele af verden, hvor solindstrålingen er større end i Danmark.

Amorfe solceller

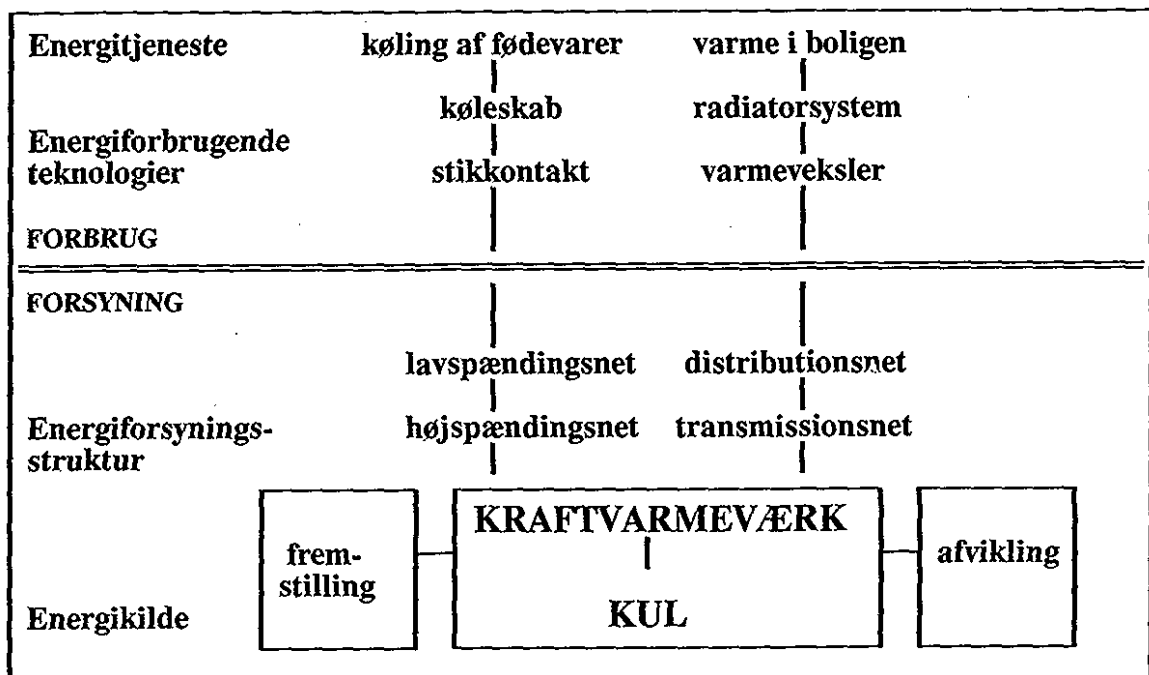
Amorfe solceller kan på nuværende tidspunkt ikke betragtes som en renere teknologi. Dels giver de i fremstillingsfasen anledning til diverse miljø- og arbejdsmiljøproblemer og dels er deres elproduktion i levetiden (omregnet til primærenergi) af samme størrelsesorden som energiforbruget til fremstillingen. Dette betyder, at de ikke giver anledning til at der spares emissioner. For de amorfe solceller vil en væsentlig forøgelse af effektiviteten og levetiden være en forudsætning for, at de på længere sigt kan betragtes som en renere teknologi.

6.9 Kulstøvsfyret kraft- og kraftvarmeværk.

Denne livsforløbsanalyse omhandler henholdsvis et kulstøvsfyret kraftværk og et kraftvarmeværk. Den tager udgangspunkt i et af de mest effektive værker i størrelse som Avedøreværket blok 1. LFA er delt op i de 3 forskellige faser: etablering, drift og afvikling.

I alle tre faser energi- og materialestrømmene opdelt på de forskellige nytteanlæg, dvs. strømmene opdeles på elproduktion, varmeproduktion og rensningsteknologier (elfilter, afsvovling), for at illustrere hvordan fordelingen er internt på værket.

Figur 6.9.1 illustrerer den sammenhæng (energikæde), som et kraftvarmeværk indgår i energisystemet.



Figur 6.9.1

Eksempel på en energikæde for den sammenhæng som et kraftvarmeværk indgår i.

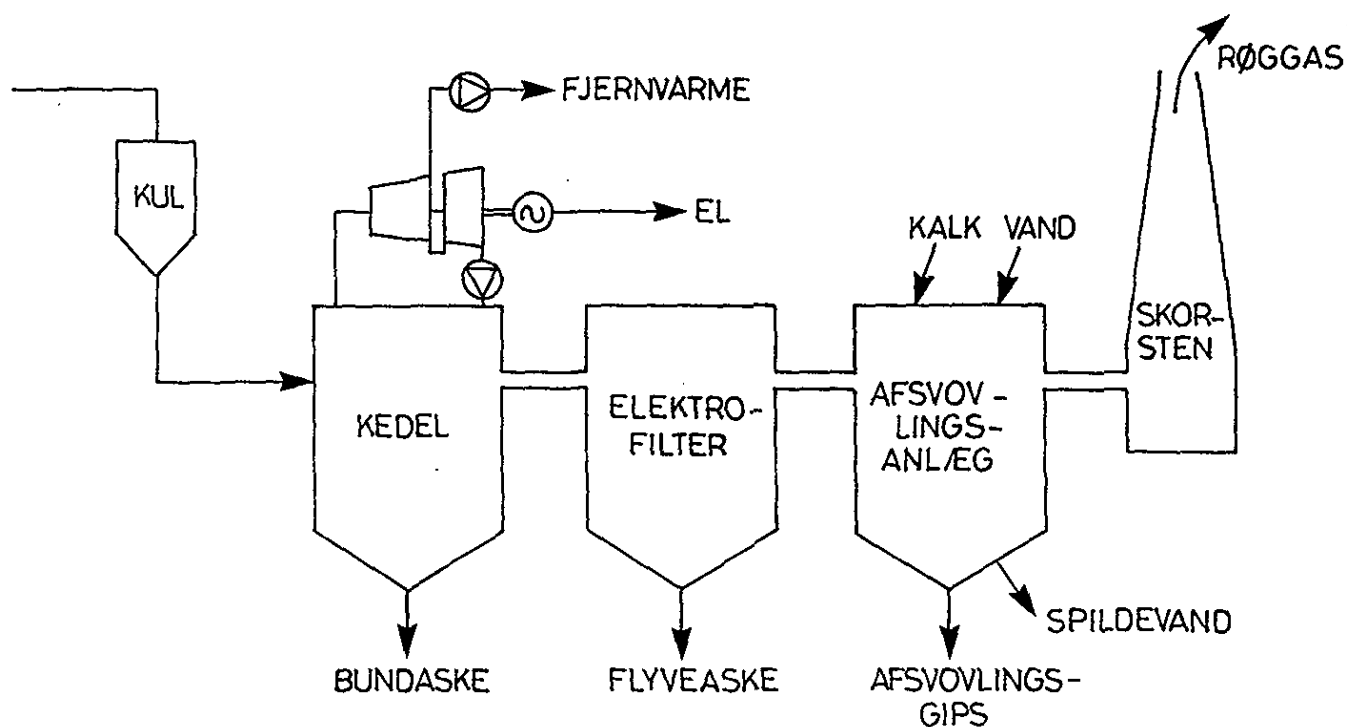
For et kondensværk (kraftværk med udelukkende elproduktion) er det kun energikæden for elforsyning og -forbrug som er aktuel.

Avedøreværket blok 1

Avedøreværket er anlagt som udtagsværk, og derfor kan det køres både som kondensværk (udelukkende elproduktion) og som kraftvarmeværk. Det har en bruttoydelse ved kondensdrift på 250 MW_{el} og ved maximal fjernvarmeydelse 330 MW_{varme} og 215 MW_{el}. Kraftværket er udstyret med røggasrensning, som udskiller flyveaske samt svovl i form af gips.

På figur 6.9.2 er vist en principskitse af opbygningen af et kraftvarmeværk.

Beskrivelse



Figur 6.9.2
Principskitse af et kraftvarmeværk

6.9.1 Fremstilling af kraftvarmeværk :

El- og varmeproduktion

Materialestrømme

Materialeforbrug til el- og varmeproduktion :

Bygning :

400.000 ton beton	(anslået)
50.000 ton stål	(anslået)
10.000 ton aluminium	(anslået)
20.000 ton mineraluld	(anslået)

El- og varmeproducerede teknologier :

kulmøller : 400 ton stål	(ref. 6.9.5)
kedel : 1700 ton stål	(ref. 6.9.5)
turbine : 100 ton højtforarbejdet stål	(anslået)
generator : 50 ton højtforarbejdet stål	(anslået)
pumper : 10 ton højtforarbejdet stål	(anslået)

Elektrofilter

Materialeforbrug til elektrofilter :

Bygning :

40.000 ton beton	(anslået)
5.000 ton stål	(anslået)
1.000 ton aluminium	(anslået)

Filter teknologi :

300 ton stålprofiler	(ref. 6.9.4)
372 ton valsede stålplader	
20 ton motorer, transformatorer oa. højtforarbejdede dele	
65 ton mineraluldsisolering	
35 ton aluminium	

<i>Afsvovlingsanlæg</i>	Materialeforbrug til afsvovlingsanlæg: Bygning : 80.000 ton beton (anslået) 10.000 ton stål (anslået) 2.000 ton aluminium (anslået)
	Afsvovlingsteknologi : (ref. 6.9.4) 400 ton stålprofiler 800 ton valsede stålplader 200 ton motorer, transformatorer oa. højtforarbejdede dele 150 ton mineraluldsisolering 90 ton aluminium
<i>Anslåede materialeforbrug</i>	En stor del af ovenstående materialeforbrug er anslået, idet det ikke har været muligt at få oplysninger om de reelle tal. De anslåede værdier er fremkommet ud fra overvejelser om bygnings- og teknologistørrelser. Ved den endelige analyse bliver det vurderet, om disse anslåede data bliver afgørende for det endelige resultat.
<i>Energiindhold i materialer</i>	Energiforhold Det primære energiindhold i materialerne fås fra afsnit 6.1, og for de forarbejdede dele anvendes værdier, hvor forarbejdningstillæg er inkluderet.
<i>Energiindhold i anlægsdele</i>	<i>Energiindhold i den el- og varmeproducerende del:</i> Bygning : 5,8 PJ Energiproducerende teknologier : 220 TJ
	<i>Energiindhold i elektrofilter:</i> Bygning : 540 TJ Filtarteknologi : 24 TJ.
	<i>Energiindhold i afsvovlingsanlæg:</i> Bygning : 1,1 PJ Afsvovlingsteknologi : 55 TJ
	Energiforbruget til sammenbygning af energiteknologierne antages at være forsvindende i forhold til energiindholdet i materialerne.
<i>Arbejdsmiljø på byggeplads</i>	Arbejdsmiljø Arbejdsmiljøet på byggepladsen kan bl.a. blive belastet af: - støv fra beton til støbning (kan give silicose) - af div. svejserøg, hvor der frigives forskellige gasser - af isoleringsmaterialer som mineraluld, der kan give hudirritationer samt mistænkes for at være kræftfremkaldende - div. risici og gener ved store og høje byggerier, f.eks. er der omkommet 2 personer under etablering af skorstenen
<i>Transportarbejde</i>	Transport Der har været et transportarbejde i forbindelse med anlæg af pladsen, hvorpå kraftværket ligger. Der er blevet inddæmmet et areal på ca. 500.000 m², og der er blevet opfyldt med ca. 1.000.000

m³ flyveaske og sand. Energiforbruget til dette kendes ikke.

Etablering af havn

Desuden er der blevet anlagt en havn i forbindelse med kraftværket, og her er der blevet udgravet ca. 1.000.000 m³ havbund og flyttet til Køge bugt. Energiforbruget til dette kendes ikke.

6.9.2 Drift

I dette afsnit beskrives hvilke energiforbrug og miljøproblemer, der er forbundet med fremstilling af el og varme. Hvor intet andet er opgivet er dataene fra ref. 6.9.1.

Energi- og ressourceforbrug

Kulbrydning

Energiforbruget i forbindelse med kulbrydningen er i størrelsesordenen 5 GJ/ton. (i følge afsnit 4.3.1)

Lagring af kul

Kullenes brændværdi forringes ved *lagring* med 1-2% om året både pga. støv- og gasemissionen og oxidation af kullene.

Kulanalyse

For at undersøge hvilke stoffer der udskilles ved *forbrænding af kul*, er det nødvendigt at vide hvilke stoffer kullene indeholder fra start. Figur 6.9.3 viser indholdet i gennemsnitskul fra svensk analyse.

Brændværdi	26 MJ/kg ved levering	
Fugtindhold	8 % ved levering	= 3,1 g/MJ
Askeindhold	13 % ved levering	= 5,0 g/MJ
Kulindhold (C)	83 % vægt af brændbart	= 25,2 g/MJ
Brintindhold (H)	5,5 % vægt af brændbart	= 1,7 g/MJ
Iltindhold (O)	9 % vægt af brændbart	= 2,7 g/MJ
Svovlindhold (S)	1,0 % vægt af brændbart	= 0,3 g/MJ
Kvælstofindh. (N)	1,5 % vægt af brændbart	= 0,46g/MJ
Klor (Cl)	0,1 % vægt af brændbart	= 0,02g/MJ
<i>Sporelementer:</i>		<i>Indhold i asken:</i>
Arsen (As)	150 µg/MJ	SiO ₂ = 57,5 %
Beryllium (Be)	40 µg/MJ	Al ₂ O ₃ = 27,5 %
Cadmium (Cd)	10 µg/MJ	Fe ₂ O ₃ = 5,9 %
Cobalt (Co)	150 µg/MJ	CaO = 3,5 %
Chrom (Cr)	400 µg/MJ	MgO = 1,6 %
Kobber (Cu)	400 µg/MJ	Na ₂ O = 0,7 %
Kviksølv (Hg)	4 µg/MJ	K ₂ O = 1,5 %
Mangan (Mn)	2000 µg/MJ	TiO ₂ = 1,4 %
Nikkel (Ni)	400 µg/MJ	P ₂ O ₅ = 0,4 %
Bly (Pb)	500 µg/MJ	
Selen (Se)	60 µg/MJ	
Thorium (Th)	120 µg/MJ	
Uran (U)	50 µg/MJ	
Vanadium (V)	900 µg/MJ	
Zink (Zn)	1000 µg/MJ	

Figur 6.9.3

Kulanalyse for gennemsnitskul (svensk gennemsnit fra ref. 6.9.1)

Stor variation

Indholdet af de forskellige stoffer i kullene varierer meget afhængigt af, hvor kullene kommer fra, men tallene i figur 6.9.3 giver et rimeligt gennemsnit.

Emissioner

Ved afbrænding af kullene vil de forskellige stoffer enten gå over i røggassen eller aflejres som bundaske i kedlen. Figur 6.9.4 viser, hvordan emissionerne fordeler sig på de forskellige stoffer.

Røggasmængde	= 0,35 nm ³ (tør gas)/MJ
CO ₂	= 92 g/MJ
Bundaske	= 0,5 g/MJ heraf 2% uforbr. kulstof
Flyveaske	= 4,9 g/MJ heraf 2% uforbr. kulstof
SO ₂	= 0,60 g/MJ i røggas
NO _x som NO ₂	= 0,37 g/MJ i røggas
HCl	= 43 mg/MJ i røggas

Figur 6.9.4

Analyse af emissioner fra kulstøvsfyring (ref. 6.9.1)

Sporelementer i asken

Sporelementerne vil typisk binde sig til bundaske og flyveaske, og dette er der vist eksempler på i figur 6.9.5.

Sporelement	Tilført µg/MJ	Bortført med		
		Bundaske %	Flyveaske %	Røggas %
Kviksølv	4	0	60	40
Bly	500	11	88	1
Cadmium	10	6	91	3
Vanadium	900	15	84	1
Nikkel	400	24	75	1
Chrom	400	35	61	4
Mangan	2000	43	57	0
Cobolt	150	28	71	1
Kobber	400	33	67	0

Figur 6.9.5

Sporelementbalance for kulstøvsfyrer kraftværk (ref. 6.9.1)

Sporelementer i gips

Analysen i figur 6.9.5 medtager ikke sporelementerne, der bliver bortført med afsvovlingsanlægget. I følge ref. 6.9.5 vil en stor del af de tilbageværende sporelementer blive udfældet i afsvovlingsgipsen.

Energiforbrug til elproduktion

Fremstilling af el ved *kondensdrift* i et kraftværk som Avedøre-værket resulterer direkte et i energiforbrug som angivet i figur 6.9.6 ved fuld produktion. Energiforbruget til etablering og afvikling af kraftværket er ikke medtaget. Emissionerne som følge af driften ses i figur 6.9.9 og 6.9.10.

Internt energiforbrug

Til drift af kraftværket er der et internt energiforbrug. Det drejer sig om drift af kulmøller, pumper, brændere, røggasblæser osv. Det totale interne energiforbrug (el) til drift er ca. 30 MW (incl. elforbrug til rensningsanlæg). (Ref. 6.9.5)

	250 MW el brutto
kulforbrug	85 ton/h
drifttid	7000 h/år
nettobrændværdi	15,5 PJ/år (4,3 TWh/år)
brutto el output	6,30 PJ/år (1,8 TWh/år)
dir. effektivitet	41 %
energi til brydning	2,98 PJ/år (5 GJ/t)
transport af kul	0,15 PJ/år (1 %)
tab ved lagring	0,3 PJ/år (2 %)
total energiforbrug	18,9 PJ/år (5,3 TWh/år)
egetforbrug på værk	0,76 PJ/år
Netto el ab værk	5,54 PJ/år (1,5 TWh/år)
effektivitet abværk	29 %
tab i distribution	8 %
el an forbruger	5,10 PJ/år (1,4 TWh/år)
effektivitet total	27 %

Tab i distribution er fra ref. 6.9.3

Figur 6.9.6

Forbrug og effektiviteter ved fuld produktion på kraftværk med kondensdrift (udelukkende elproduktion)

I figur 6.9.6 er nettobrændværdien beregnet ud fra figur 6.9.3 og øvrige data er fra teksten i afsnittene om energi- og ressourceforbrug og transport.

Energiforbrug til KV-produk.

Ved fremstilling af både el og varme ved drift som kraftvarmeværk giver det anledning til energiforbrug som anført i figur 6.9.7. Data om energiforbrug og -produktion er ækvivalente til de i figur 6.9.6 angivne, da det er det samme kraftværk, som er benyttet. Energiforbrugene er opdelt på henholdsvis el og varmeproduktion i forhold til bruttoydelser af el og varme. Da egetforbruget udelukkende er el bliver det kun medtaget under elproduktion. Effektiviteterne for produktionen er angivet i forskellige stadier.

Emissioner

Emissionerne fra energiproduktionen er angivet på figur 6.9.9 (total for el- og varmeproduktion) og 6.9.11.

	215 MW el	330 MW varme
kulforbrug	33,5 ton/h	51,5 ton/h
drifttid	7000 h/år	7000 h/år
nettobrændværdi	6,10 PJ/år	9,40 PJ/år
brutto output	5,42 PJ/år	8,32 PJ/år
dir. effektivitet	89 %	89 %
energi til brydning	1,18 PJ/år	1,80 PJ/år
transport af kul	0,06 PJ/år	0,09 PJ/år
tab ved lagring	0,12 PJ/år	0,19 PJ/år
total energiindhold	7,46 PJ/år	11,4 PJ/år
egetforbrug på værk	0,76 PJ/år	
Netto ab værk	4,66 PJ/år	8,32 PJ/år
effektivitet abværk	63 %	73 %
tab i distribution	8 %	25 %
el/varme an forbrug	4,29 PJ/år	6,24 PJ/år
effektivitet total	58 %	55 %

BTab i distribution er fra ref. 6.9.3

Figur 6.9.7

Forbrug og effektiviteter ved fuld produktion på kraftvarmeværk

Hele kraftvarmeværket har et totalt vandforbrug på 600.000 ton/år (heraf 250.000 til afsvovlingsanlæg).

Rensning af røggas:

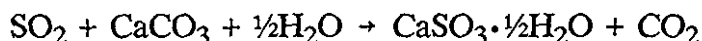
Røggassen renses for flyveaske og svovl. Flyveasken fjernes ved hjælp af et *elektrofilter* som fjerner mere end 99,5 % af flyveasken fra røggassen. Med denne fjernelse fanges også en stor del af sporelementerne i røggassen, da disse er bundet til asken. Undtaget fra dette er kviksølv, hvor ca 40% af kviksølvindholdet i kullene ikke bortrenses. Det interne energiforbrug til elektrofilteret er i størrelsesordenen 1% af elproduktionen. Flyveasken benyttes i stor udstrækning til cementproduktion. Man må dog være opmærksom på det store indhold af tungmetaller o.lign. som er i flyveasken, både hvis den anvendes til cement eller den deponeres.

Flyveaske

Energiforbrug til elektrofilter

Svovl

Afsvovlingsanlægget producerer gips som restprodukt. Det renser røgen for 92% af SO₂-indholdet. Processen er en 'våd-proces', hvor en kalk-opløsning vasker røggassen. Processens kemiske formel er:



Energiforbrug til afsvovling

som viser, at for hvert mol SO₂ som fjernes emitteres et mol CO₂. Energiforbruget til afsvovlingsprocessen er i størrelsesordenen 5% af elproduktionen. Fremstillingen af kalk til processen kræver 2450 kWh/ton (ifølge afsnit 6.1). Man regner med at hele produktionen af gips kan benyttes til kommercielt brug. Det må dog forventes, at såfremt der etableres lignende afsvovlingsanlæg på alle kraftværker, kan der komme en overproduktion af gips. Tilsvarende overvejelse vil gælde såfremt der etableres andre typer afsvovlingsanlæg, som producerer f.eks. svovlsyre eller rent svovl. Derfor vil det ved øget udbygning med afsvovlingsanlæg på kraftværker blive nødvendigt at deponere restprodukterne.

SO ₂ mængde	1,3 ton/h	(før afsvovling)
Kalkmængde	2,0 ton/h	(energiindhold 4900 kWh/h)
Gipsproduktion	2,7 ton/h	(opgivet til 10 ton/h)
CO ₂ produktion	0,9 ton/h	
SO ₂ emission	0,1 ton/h	
Energiforbrug	11 MWh/h + 4,9 MWh/h for kalkprod.	

Figur 6.9.8

Oversigt over energiforbrug og emissioner for afsvovlingsanlæg:

Gipsproduktion

Gipsproduktionen er her beregnet ud fra støkiometriske overvejelser med at et mol SO₂ giver et mol CaSO₃, men i ref. 6.9.2 er der opgivet af gipsproduktionen er på ca. 10 ton/h. Dette må skyldes, at der er en vis mængde gips i kalken, som faktisk er inaktiv.

Gipsen, der kommer ud af processen, er mættet med vand, og for at få 'almindelig' gips frem må produktet dehydreres, således at vandet i gipsen fjernes. Denne proces kræver altså også energi.

Vandforbrug

Til afsvovlingsprocessen bruges 250.000 ton vand/år. Der kommer også en mængde spildevand, som skal renses før udledning. Energiforbrug til dette kendes ikke.

Transport af kul

Transport

Energien til transport af kul afhænger af, hvor kullene hentes fra, men er i størrelsesordenen 1% af kullenes brændværdi for de lande, hvorfra Danmark køber kul. Der kan opstå forurening af havmiljøet, såfremt kulkibe er udsat for havari, dog anses dette problem for at være væsentligt mindre end for olieskibe.

Transport på kraftværket

På kraftværket benyttes transportbånd og gravemaskiner til transport af kul til kulmøller. Desuden anvendes bulldozere til at presse luft og gasser ud af kullene for at forhindre varmeudvikling med selvantænding til følge.

Der er et vist transportarbejde forbundet med at fjerne restprodukterne, gips og flyveaske, fra kraftværket til de steder, hvor produkterne anvendes.

<i>Støv og gas fra kulbunker</i>	Miljøeffekter De store kulbunker ved kraftværket kan give anledning til støvgener i omegnen af kraftværket. Der emitteres gasser fra kulbunkerne, herunder methan (CH₄), som er en drivhusgas.
<i>Forurening af grundvand</i>	Der er også risiko for, at undergrunden forurenes af kullagrener. Regnvand kan føre kulbestanddele som sulfat og cadmium, zink, kobber og kviksølv ned i jorden og videre til grundvandet.
<i>Selvantændelse</i>	Der er risiko for selvantændelse af kulbunkerne, og derfor bliver kulbunkerne sammentrykket med bulldozere for at mindske gasindholdet.
<i>Sporelementer</i>	Mange af sporelementerne i kullene er betænkelige for det ydre miljø, f.eks. arsen, beryllium, cadmium, kviksølv og bly.
<i>Radioaktivitet</i>	Da kullene indeholder en vis mængde uran og andre grundstoffer som er radioaktive, vil der blive emitteret radioaktivitet fra kraftværket. Størstedelen af radioaktiviteten er bundet til flyveaksen og vil blive frasepareret med denne i elektrofilteret. Ved anvendelse af flyveaske i cementproduktion vil cementen få et højere indhold af radioaktivitet end ved normalproduktion af cement, men det har vist sig i følge ref. 6.9.5, at samtidig bliver cementen tættere ved udstøbning til beton, og radioaktiviteten bliver derved holdt inde med mindre emission ved brug til følge. Man skal dog være opmærksom på dette ved destruktion af beton baseret på flyveaske.

Emissioner pr. år af CO₂, SO₂, NO_x, aske, kviksølv, cadmium og bly som følge af drift på et *kondensværk* er opgivet i figur 6.9.9.

Emissioner pr år	CO ₂ i 1000 t	SO ₂ i ton	NO _x i ton	aske i ton	Hg i kg	Cd i kg	Pb i ton
Brydning	311	731	245				
Transport	11	69	127				
Lagring	28	182	112				
Drift	1.421	9.100	5.600	75.600	62	155	7,8
Total	1.771	10.082	6.084	75.600	62	155	7,8

Energikilden for brydning og traasport regnes som olie, og emissionerne herfra er beregnet fra ref. 6.9.6.

Figur 6.9.9

Opgørelse af emissioner pr. år før rensning for drift som kondensværk samt som kraftvarmeværk.

Emissionerne i figur 6.9.9 er beregnet ud fra dataene i figur 6.9.3 og 6.9.4.

Sporstoffer Desuden bliver der ifølge figur 6.9.3 emitteret en del sporstoffer, som kan have forskellige miljømæssige gener. Disse sporstoffer bindes som oftest til flyveasken jf. figur 6.9.5.

Emissioner ved kondensdrift På figur 6.9.10 er emissionerne til luft af CO₂, SO₂, NO_x, aske, kviksølv, cadmium og bly samt biprodukterne fra rensningsteknologierne (gips, flyveaske og de deri bundne tungmetaller) fra

driften af *kondensværket* opgjort i forhold til den indfyrede energimængde, netto elproduktion af værk samt den el som kommer til forbrugeren, når alle tab er medregnet.

Emissioner pr MWh	CO ₂ i ton	SO ₂ i kg	NO _x i kg	aske i kg	Hg i mg	Cd i mg	Pb i mg
indfyret (restpr)	0,41	0,19 + 19 gips	1,41	0,1 + 17,5	5,8 + 8,6	1 + 35	18 + 1.800
af værk (restpr)	1,15	0,52 + 52 gips	3,95	0,2 + 48,8	16 + 24	3 + 98	50 + 5.000
an forbrug (restpr)	1,25	0,55 + 55 gips	4,29	0,3 + 53,0	18 + 26	3 + 106	54 + 5.400

Figur 6.9.10

Emissioner og restprodukter fra drift opgjort i forhold til indfyret energimængde, netto elproduktion af værk samt el an forbruger.

Emissioner og restproduktmængder i figur 6.9.10 er beregnet ud fra dataene i figur 6.9.5, 6.9.6, 6.9.8 og 6.9.9

Emissioner ved KV-drift

På figur 6.9.11 er emissionerne af CO₂, SO₂, NO_x, aske, kviksølv og cadmium samt biprodukterne fra rensningsteknologierne (gips, flyveaske og de deri bundne tungmetaller) fra drift som *kraftvarmeværk* opgjort i forhold til den el og varme, som kommer ud til forbrugeren, når alle tab er medregnet (betegnes an forbruger).

Emissioner pr MWh	CO ₂ i ton	SO ₂ i kg	NO _x i kg	aske i kg	Hg i mg	Cd i mg	Pb i mg
an forbrug varme (restpr)	0,62	0,28 + 28 gips	2,12	0,1 + 26,2	8,6 + 13,0	2 + 52	27 + 2.700
el (restpr)	0,47	0,23 + 23 gips	1,76	0,1 + 21,9	7,2 + 10,8	1 + 44	23 + 2.200

Figur 6.9.11

Emissioner og restprodukter fra drift af kraftvarmeværk an forbruger med emissionerne opdelt efter Cm-værdi.

Emissioner og restproduktmængder i figur 6.9.11 er beregnet ud fra dataene i figur 6.9.5, 6.9.7, 6.9.8 og 6.9.9

Til afsvovling af røggassen kræves store mængder kalk, og brydning af dette kan give store ødelæggelser af naturområder.

Arbejdsmiljø

Brydning af kul

Brydning af kul i kulminer kan give nogle arbejdsmiljømæssige gener, som indånding af kulstøv (kan give silicose), mm.

Arbejdsmiljø på kraftværk

Arbejdsmiljøet på et kraftvarmeværk kan blive generet af støj fra kulmøller, brændere, pumper mm. Støv fra produktionen og fra kullene kan være irriterende for luftvejene og det indeholder SiO₂ som kan give silikose. Gasser fra kullene - kulbrinter, kulilte mm. - er giftige i større koncentrationer, og gasser fra forbræn-

dingen - SO_2 , NO_x , kulilte og kulbrinter - er generende og giftige i større koncentrationer. På det aktuelle kraftværk er der taget højde for disse gener ved lyddæmpning, lukkede systemer for støv og farlige gasser mm.

Levetid

Levetid

Levetiden for energiteknologierne i kraftvarmeværket forventes at være 30 år.

6.9.3 Afvikling

Energi- og ressourceforbrug

Der er ikke i denne opgørelse blevet undersøgt, hvilke energi- og ressourceforbrug der er forbundet med afviklingen af et kraftværk.

Det totale energiforbrug til afvikling antages at være i størrelsesordenen 100 TJ.

Renovation

Genanvendelighed

Efter endt levetid bliver energiteknologierne oftest renoveret til videre drift. Kedelen forsynes med ny brænder og de øvrige teknologier bliver ombygget eller forsynet med nyere teknologier.

Ved afvikling af hele kraftværket kan en stor del af stål, aluminium mm. genanvendes. Bygningsmaterialer som beton, cement o.lign. kan genanvendes, men vil som oftest blive deponeret.

Rensning af jord

Miljøeffekter

Det kan være nødvendigt at rense jorden for de forskellige tungmetaller o.lign. som er sivet ned fra kullagre pga. regnvand. Øvrige miljøeffekter forbundet med afviklingen af kraftværket er ikke blevet undersøgt.

Arbejdsmiljø

De arbejdsmiljømæssige problemer ved afvikling af kraftværket er af samme type som de problemer, der er ved fremstillingen.

6.9.4 Samlet analyse

Samlet opgørelse

I dette afsnit opgøres de samlede energi- og ressourceforbrug samt miljøeffekterne og emissionerne i hele teknologiens livslængde.

Energifaktor

For at beregne energifaktoren beregnes det samlede energiforbrug til fremstilling, drift og afvikling af teknologien samt netto el- og varmeproduktionen under drift.

Energiforbrug

Energiforbrug

Energiforbrug til fremstilling (regnes ens for kraft og kraftvarme)

El og varme produktion	6 PJ
Afsvovlingsanlæg	2 PJ
Elektrofilter	1 PJ

<u>Energiforbrug til drift (PJ):</u>	Kraftværk	Kraftvarmeværk	
		El	Varme
Total energiindhold i kul	567	224	342
Energiindhold i kalk	1	0,4	0,6

Energiforbrug til afvikling 100 TJ

<u>Totalt energiforbrug (PJ):</u>	Kraftværk	Kraftvarmeværk	
		El	Varme
El og varme produktion	573	226	347
Afsvovlingsanlæg	3	1	2
Elektrofilter	1	0,3	0,7
Totalt energiforbrug	577	227	350

Energiproduktion

<u>Energiproduktion (PJ):</u>	Kraftværk	Kraftvarmeværk	
		El	Varme
El og varme produktion	189	163	250
Egetforbrug til produktion	13	13	
Forbrug til elektrofilter	2	2	
Forbrug til afsvovling	8	8	
Nettoproduktion	166	140	250

Energifaktoren for hele anlægget er defineret som : (jf. kap.2)

Energifaktor

$$\text{Energifaktor} = \frac{\text{Nettoproduktion}}{\text{Total energiforbrug}}$$

Beregnete værdier

For kondensdrift bliver energifaktoren 0,29.
For kraftvarmedrift bliver energifaktoren 0,62 for elproduktion og 0,71 for varmeproduktion.

For energiproduktionsanlæggene alene (uden røggasrensning) bliver energifaktoren for kondensdrift 0,31 og for kraftvarmedrift 0,66 for elproduktion og 0,72 for varmeproduktion.

Betydning af energiforbrug til fremstilling og afvikling

Ud fra ovenstående energiforbrug ses, at energiforbruget til fremstilling og afvikling af kraftværket er godt 1% af det samlede energiforbrug, og de anslåede værdier for materialemængderne er ikke afgørende for energianalysen.

<i>Emissioner i levetiden</i>	Miljømæssig vurdering I hele kraftvarmeværkets levetid giver produktionen anledning til emissioner af 54 mill. ton CO₂, 25.000 ton SO₂, 186.000 ton NO_x, 12.000 ton flyveaske, 2 ton kviksølv og 5 ton cadmium. Desuden bliver der emitteret en del andre sporstoffer som angivet i figur 6.9.3. Desuden bliver der produceret 2,5 mill ton gips og frasepareret 2,3 mill tons flyveaske.
<i>Rensning</i>	Rensningsteknologierne (afsvovlingsanlæg og elektrofilter) giver anledning til lavere emissioner af aske og SO₂, men såfremt at rensningsprodukterne ikke genanvendes og må deponeres vil rensningen blot ændre recipienten fra luft til vand eller jord.
<i>Ekstra emissioner pga. rensning</i>	Desuden er begge rensningsteknologier energikrævende og de vil dermed give anledning til ekstra emissioner af bl.a. CO₂ og NO_x. Reduktion med 280.000 ton SO₂ giver ekstra emission af 3 mill. ton CO₂ og 10.000 ton NO_x, når man regner med at kraftværket kunne have produceret nyttig el for den energimængde som afsvovlingsanlægget indeholder samt for den el som afsvovlingsanlægget bruger til drift.
<i>Afvejning af miljøeffekter</i>	Det må derfor være et udtryk for en afvejning mellem de forskellige miljøeffekter, hvis man vil benævne afsvovlingsanlæg som renere teknologi, idet reduktion af SO₂ med afsvovlingsanlæg som er medvirkende til forsuring vil give øget emission af CO₂, som bidrager til drivhuseffekten, samt af NO_x, som også giver forsuring og tillige øger dannelsen af ozon (jf kap 1). Lignende overvejelser vil gøre sig gældende for udskillelse af flyveaske med elektrofilter, da denne proces også er energikrævende (dog i væsentligt mindre målestok end for afsvovling). Det er væsentligt at eliminere askeudslippet, idet store mængder af tungmetaller og af andre sporelementer bindes til flyveasken, og dermed ikke umiddelbart udledes til det ydre miljø.
<i>Materialevalg</i>	Renere teknologi Ud fra afsnittet om energifaktor ses at energiforbruget til etablering og afvikling af kraftværket er meget lille i forhold til energiindholdet i brændslet (ca. 2 %). Derfor vil det ikke i denne livsforløbsanalyse være forbundet med særlige forbedringer at ændre materialevalgene.
<i>Forslag til renere teknologi</i>	Forslagene til renere teknologi inden for kraftværksområdet vil derfor omhandle effektivitetsforbedringer i produktionen, ændring af brændsel samt valg af anden elproduktionsmetode.
<i>Samproduktion</i>	Desuden kan det konstateres, at samproduktion af el og varme på et kraftvarmeværk giver væsentligt højere energifaktor for elproduktionen og derfor kan det også betegnes som renere teknologi. Om det også gør sig gældende for varmeproduktion, må vise sig ved sammenligning med andre varmeproduktionsmetoder.
<i>Ændret elproduktions-teknologi</i>	Effektivitetsforbedringer: Ved ændring af elproduktionsteknologien fra kulfyret kedel og damp turbine til <i>brændselscelle</i>, <i>combined cycle</i> eller <i>gasturbine med dampinjektion</i> vil der i følge afsnit 4.2 kunne opnås højere virkningsgrader ved elproduktion. Disse teknologier kræver dog at brændslet er gas, og såfremt man ønsker at bibeholde kul som brændsel, er det nødvendigt at forgasse kullene først. Dette vil medføre en reduktion af brændværdien i forhold til den oprinde-

lige. Det er dog mindre energikrævende at afsvovle brændslet under forgasningsprocessen end det er i et afsvovlingsanlæg. Emissionerne af SO_2 og NO_x er mindre for de nævnte teknologier end for dampturbinen.

Fluid bed

Ved brug af kul som brændsel er *fluid-bed* forbrændingsteknologien også interessant. I denne proces bliver kullene afsvovlet under forbrændingen ved tilsætning af kalk, og dermed bliver det ikke yderligere energikrævende at eliminere SO_2 emissionen. Ved fluid-bed processen bliver NO_x emissionen også lavere end ved traditionel drift, idet forbrændingen foregår ved væsentligt lavere temperatur.

Naturgas

Ændring af brændsel:

Ved substitution med *naturgas* som brændsel vil SO_2 emission kunne undgås helt uden anvendelse af afsvovlingsteknologier, idet naturgassen i Danmark ikke indeholder svovl. Det er tillige muligt (jf. ovenstående) at benytte væsentligt mere effektive elproduktionsmetoder til fremstilling af el (og varme) end dampmaskiner. Naturgassen har et mindre kulstofindhold i forhold til brændværdien end kul og vil derfor give tilsvarende mindre CO_2 emission.

Fornybare energikilder

Ved ændring af brændslet til *fornybare energikilder* som halm og træ vil emissionen af CO_2 reduceres til den emission, der er forbundet med etablering og afvikling af kraftværket. Indholdet af svovl i forhold til brændværdien i de fornybare energikilder er væsentligt mindre end for kul (ca. 1/10) og vil derfor give tilsvarende mindre emission af SO_2 . Ved forgasning af biobrændslerne kan de mere effektive forbrændingsmetoder, som er beskrevet ovenfor, anvendes. Dog vil brændværdien ved forgasning forringes parallelt til forgasning af kul.

Vedvarende energikilder

Valg af anden elproduktionsmetode:

El kan tillige produceres med vedvarende energiteknologier som vindmøller, solceller og bølgekraftsanlæg. Disse vil ikke medføre emissioner under drift, og energiforbrugene til disse vil være begrænset til fremstillings- og afviklingsfaserne for teknologierne.

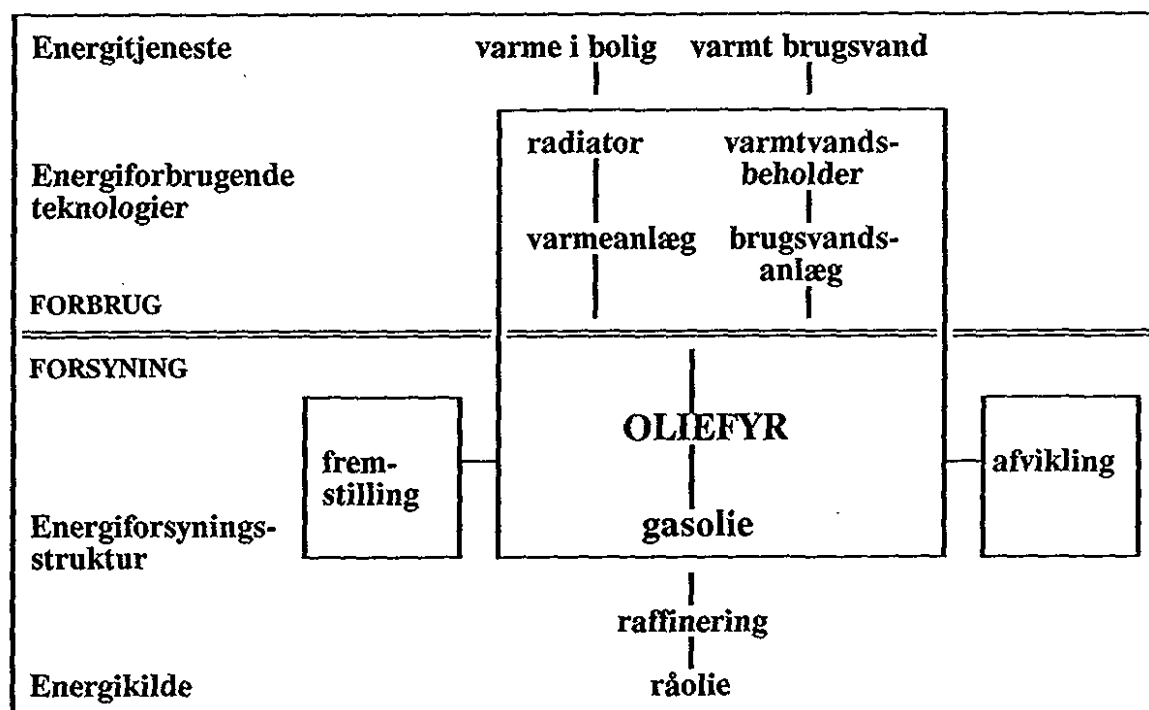
6.10 Oliefyret vandbåren opvarmning

Opvarmningssystem

Eksemplet omhandler opvarmningssystemet til komfortvarme og varmt brugsvand i et 100-200 m² parcelhus, og omfatter følgende dele:

- Olietank
- Oliebrænder
- Kedel
- Skorsten
- Varmtvandsbeholder
- Radiatorer
- Rørføring
- Cirkulationspumpe mm.

Figur 6.10.1 viser hvordan teknologien indgår i energisystemet.



Figur 6.10.1

Placeringen af et oliefyret vandbåren opvarmningssystem i energikæden for opvarmning.

6.10.1 Fremstilling

Olietank

Olietanken er almindeligvis lavet af 3 mm stålplade og kan placeres indendørs hvis den er på maksimalt 1200 l. Større tanke placeres udendørs eller nedgravet i jorden. Nedgravede tanke kan også være lavet i glasfiber, nylon eller plastic. Olietanken i dette eksempel er på 2500 liter og lavet af stål. Vægt 280 kg. Olietanken er tilsluttet brænderen med kobberrør (vægt ca. 0,2 kg/m). Vi regner med 2 x 5 m kobberrør i eksemplet.

Oliebrænder

Oliebrænderen er sammensat af en række komponenter, hvoraf det mest energitunge er jern, kobber og aluminium. Hele brænderen er bygget op omkring et blæserhus af aluminium. Herpå er monteret en blæsemotor af aluminium og stål, en oliepumpe hovedsagelig af stål, en tændtransformer hovedsagelig af kobber, og et blæserhjul af blik (vejer næsten intet). Desuden er der en

kontrolautomat (printplade, komponenter, plastik), en fotocelle, en pakning mod kedlen af ferriolit (?) og ca. 5 m kabel (0,75 mm² i tværsnit) m. PVC-isolering. Det hele er beskyttet af et hus af polystyren.

Oliebrænderen i dette eksempel vejer i alt 13 kg som er fordelt på ca. 4 kg jern, 3 kg kobber, 5 kg aluminium, ca. 0,5 kg polystyren plus diverse.

Kedel-unit

Kedel og varmtvandsbeholder sælges ofte samlet sammen med oliebrænderen, cirkulationspumpe og shuntventil mm. som "kedel-unit". Kedeldelen er enten lavet af pladejern eller støbejern og er isoleret med mineraluld. Varmtvandsbeholderen (kappebeholder) og shuntventilen består hovedsaglig af stål, mens cirkulationspumpen kan være lavet af aluminium eller kobber og stål. Mængden af aluminium og/eller kobber er dog forsvindende i.f.t. stål. Kedelunit'en i eksemplet vejer 330 kg, hvoraf de 18 kg er mineraluld og resten regnes som stål. Varmtvandsbeholderen er ofte isoleret med polyurethanskum, men i dette eksempel regner vi med mineraluld.

Pumpe

Cirkulationspumpen er en almindelig anvendt 65 W centrifugalpumpe. Dertil kommer shuntventil, sikkerhedsventil termometre, manometer, etc. I alt regner vi med ca. 15 kg højt forarbejdet stål, som er inkluderet i kedelunit'en.

Skorsten

Skorsten. Røgaftæksrøret fra kedlen fører som regel til en muret skorsten med isoleret specialkerne. Den murede del af skorstenen er som regel en del af bygningskonstruktionen, så det "ekstra" der mures p.g.a. opvarmingsystemet svarer ikke til hele skorstenens højde. Vi regner med en skorsten på 6 m, 40x40 cm opmuret halvsten sammenlagt 4 m, stålkerne i 6 m og isoleret med lecanødde. Vi regner med følgende mængder: 800 kg teglsten (massive), 100 kg mørtel, 70 kg lecanødde og 30 kg stålrør.

Radiatorer

Radiatorstørrelsen afhænger af husets isoleringsgrad, fremløbs-temperatur og afkøling. Vi regner med 10 radiatorer af pladejern på ca. 12 kg pr. stk. I alt 120 kg stål.

Rør

Rørføring. Vi regner med 100 m stålrør a 1,2 kg/m, - i alt 120 kg.

Energiforbrug til fremstilling

Energiforhold

Energiforbruget der er medgået til materialernes fremstilling er vist i figur 6.10.2. I alt ca. 7.600 kWh eller 27 GJ primærenergi er forbrugt ved fremstilling af de materialer anlægget består af.

Forarbejdning

Da der i høj grad er tale om brug af svejst stålplade og samling af halvfabrikata, regner vi med, at energiforbruget til forarbejdning af materialerne er forsvindende i forhold til energiforbruget til fremstilling af materialerne. En vis grad af forarbejdning er dog indeholdt i de anvendte tal for energiforbruget til fremstilling af materialerne.

Miljø

Miljøforhold

Udover miljøproblemer i forbindelse med produktion af energi til fremstilling af materialerne (pga. emission af CO₂, SO₂ og NO_x), kan der være problemer i forbindelse med stålfremstilling (afsnit 6.1).

Arbejds miljø

Arbejds miljø

Der kan være arbejdsmiljøproblemer forbundet med overflade-

behandling og farvning af beholdere, kapper m.v. Huset til kedelunit'en er ovnlakeret udvendigt og varmtvandsbeholderen er emaljeret indvendigt. Desuden bruges en pakning af ferriolit (erstatning for asbest) mellem oliebrænderen og kedlen. Ved støbning af polystyren-emner (huset) kan der være problematiske arbejdsmiljøforhold, ligesom stålværksarbejdere løber en forøget risiko for lungekræft. Endelig er der de kendte problemer ved svejsning, støbning, minedrift, termisk støv mv.

Transport

Der ses bort fra transport af olietank og kedelunit mm. fra fabrik til forbruger, idet alle delene produceres i Danmark og derfor ikke transporteres over større afstande.

Det samlede energiforbrug til fremstilling fremgår af figur 6.10.2.

<i>olietank og olierør:</i>		
280 kg stål	1960 kWh	
2 kg kobber	40 kWh	
I alt		2000 kWh
<i>oliebrænder:</i>		
4 kg stål	28 kWh	
3 kg kobber	59 kWh	
5 kg aluminium	230 kWh	
0,5 kg polystyren	15 kWh	
højt forarbejdede materialer +	72 kWh	
I alt		404 kWh
<i>Kedel og varmtvandsbeholder:</i>		
312 kg stål	2184 kWh	
18 kg mineraluld	108 kWh	
højt forarbejdede materialer +	90 kWh	
I alt		2382 kWh
<i>Skorsten</i>		
800 kg mursten	720 kWh	
100 kg mørtel	190 kWh	
70 kg Lecanødder	63 kWh	
30 kg stålør	210 kWh	
I alt		1183 kWh
<i>Radiatorer</i>		
10 x 12 kg stål	840 kWh	840 kWh
<i>Rørføring</i>		
120 kg stål	840 kWh	840 kWh
Opvarmningssystem i alt		7649 kWh

Energiindholdet i materialerne stammer fra afsnit 6.1.

Figur 6.10.2

Energiforbrug indeholdt i et oliefyret vandbåret opvarmningssystem i et parcelhus.

6.10.2 Drift

Energi- og ressourceforbrug

Hustype

Et parcelhus, der kan opvarmes af det i eksemplet beskrevne opvarmningssystem, er i størrelsesordenen 100-200 m². Ifølge energistyrelsens enhedstal (ref. 6.10.1) bruger denne hustype (opført efter 1979) årligt 41 GJ/100 m². Med en årsvirkningsgrad for det samlede varmesystem på 70 %, er olieforbruget 60-120 GJ/år, svarende til 1600-3200 liter fyringsgasolie. Der regnes i det følgende med 2400 liter/år, som svarer til et parcelhus på ca. 150 m². Noget af olien kan være tilsat additiver for at modvirke frysnings i de kolde måneder (ved fritstående udendørs tanke).

Olieforbrug

Elforbrug

Cirkulationspumpen bruger i størrelsesordenen 350 kWh el pr. år, og blæsemotoren bruger ca. 100 kWh/år. Det samlede elforbrug ved driften er altså 450 kWh/år.

Vandforbrug

Desuden må der regnes med påfyldning af radiatorvand ved lækager og reparationer af varme anlægget. Forbruget af vand hertil er dog negligerbart i.f.t. brugsvandsforbruget.

Emissioner

Emissioner og miljøeffekter

Ved brug af oliefyret opvarmningssystem fremkommer der emissioner til luften (1989-tal), som vist i figur 6.10.3:

	SO ₂	NO _x	CO ₂	PAH
pr GJ olie (1)	0,094 kg	0,050 kg	74 kg	20 mg
2400 liter:	8,1 kg	4,3 kg	6400 kg	1700 mg
pr/kWh el (2)	0,55 g	4,29 g	1,25 kg	0,0036 mg
450 kWh:	0,25 kg	1,9 kg	560 kg	1,6 mg

(1) fra ref. 6.10.2, (2) fra afsnit 6.9

Figur 6.10.3

Emissioner til luft ved drift af oliefyret opvarmningssystem.

Cadmium

Desuden er der små mængder cadmium i olien (ca. 2 mg/GJ). Cadmium'en spredes med røggasserne i lokalmiljøet. Ved elproduktion emitteres ca. 0,13 mg cadmium pr. kWh an forbruger, som hovedsaglig findes i flyveasken (afsnit 6.9). Sammenlagt emitteres der ca. 180 mg Cd pr. år, heraf ca. 120 mg/år til luften.

PAH, NO_x

Da emissionerne udsendes i lav højde, er der grund til at være opmærksom på virkningerne i lokalmiljøet. PAH er kræftfremkaldende og NO_x udsendt i lav højde bidrager til dannelse af ozon, der er giftig for planter og NO₂, der er giftig for mennesker og dyr.

Transport

Transport

For godstransport med lastbil kan man regne med 7,2 ton-km/l, svarende til ca. 5 MJ/(ton-km) (ref. 6.10.3). Hvis vi antager en gennemsnitlig transport fra raffinaderi til forbruger på 100 km, og transport af 2 tons fyringsgasolie svarende til 2400 l pr. år fås 1 GJ/år i i driftperioden.

Levetid

Levetid

Levetiden for hele anlægget er en meget usikker størrelse. De enkelte dele har forskellige levetider, som er vist i figur 6.10.4.

olietank	20 år.
oliebrænder	10 år
kedel og varmtvandsbeholder	20 år
skorsten	50 år
radiatorer	50 år
rørsystemet	50 år
cirkulationspumpe mm.	20 år

Figur 6.10.4

Omtrentlige levetider for de enkelte dele i et oliefyret opvarmningsanlæg.

6.10.3 Afvikling

Genbrug

Genanvendelighed

Da der for hovedparten af bestanddelene er tale om forholdsvis let bearbejdede og forholdsvis rene materialer, er muligheden for renovering og/eller genanvendelse stor. Normalt recirkuleres radiatorer, ståltanke, kobberrør o.lign. da også. Det eneste der formodentlig ikke recirkuleres, er visse dele fra selve oliebrænderen som f.eks. elektronik, blæserhjul, beskyttelseskappen, o.lign.

Ydre miljø - arbejdsmiljø

Forudsat at jern, kobber og aluminium genanvendes, er det således dele af selve oliebrænderen (polystyren, PVC etc.), samt isoleringsmaterialet, der kan give problemer ved sortering, deponering eller afbrænding.

6.10.4 Samlet analyse

Samlede energiforbrug

Energifaktor

Det samlede energiforbrug ved fremstilling, drift og afvikling er i figur 6.10.5 beregnet over en periode på 50 år, svarende til levetiden for de længstlevende dele af anlægget.

Fremstilling (energiindhold i materialer):

- olietank og olierør: 2,5 x 2000 kWh	5000 kWh
- oliebrænder: 5 x 404 kWh	2020 kWh
- kedelunit: 2,5 x 2382 kWh	5955 kWh
- skorsten:	1183 kWh
- radiatorer:	840 kWh
- rørsystemet:	840 kWh
I alt fremstilling:	ca. 15800 kWh

Drift:

- brændsel: 50 x 86 GJ = 4300 GJ =	1200000 kWh
- transport: 50 x 1 GJ = 50 GJ =	14000 kWh
- elfremstilling 50 x 450/0,27 =	83000 kWh

Sammenlagt for 50 år:	ca. 1310000 kWh
-----------------------	-----------------

Figur 6.10.5

Samlet energiforbrug ved fremstilling, drift af et oliefyret vandbåren opvarmningssystem. Afvikling negligeres.

Varmerproduktion

Den varme der leveres i løbet af driftperioden udgør 50 år x 60 GJ/år = 3000 GJ eller ca. 830.000 kWh.

Energifaktor

Energifaktoren (eller livsvirkningsgraden) er således 0,63.

Energiforbrug til fremstilling

Energiforbruget til fremstilling af opvarmningssystemet har ikke den store betydning, idet fremstillingsenergiforbruget kun udgør godt 1 % af energiforbruget i hele livsforløbet. Varmeanlægget leverer på ca. to år den energimængde der anvendes til fremstilling af anlægget og transport af brændslet i hele dets livsforløb.

Fossil energi

Da der her er tale om fossile brændsler hele vejen, er den ovenfor beregnede faktor lig med *den fossile energifaktor*.

Miljømæssig vurdering

Set samlet over hele livsforløbet er varmeanlægget årsag til at der emitteres CO₂, SO₂ og NO_x i de mængder der er vist i figur 6.10.6.

	CO ₂ tons	SO ₂ kg	NO _x kg	PAH mg
Fremstilling (kul):	5,5	39	26	54
Drift:				
- brændsel (olie)	320	610	216	86000
- transport (diesel)	3.7	4.5	26	10000
- elforbrug (kul)	28	12.5	95	81
I alt : ca.	360	670	360	96000

Figur 6.10.6

Emissioner af CO₂, SO₂ og NO_x ved fremstilling og drift af et oliefyret vandbåren opvarmningssystem.

Kommentar til figur

Det ses at driftfasen har størst betydning mht. emissionerne, men bemærk, at for NO_x-emissionen spiller emissionen ved fremstilling og transport, en noget større rolle end ved CO₂-emissionen. Dette skyldes, at netop NO_x-emissionen er relativt lav ved individuel oliefyring. Ydermere spiller transportenergiforbruget en relativt stor rolle mht. PAH-emission. Det viser sig også at netop *elforbruget* ved driften spiller en relativt stor rolle, idet emissioner hidrørende fra elforbrug i driftfasen udgør ca. 10 % af den samlede CO₂-emission, og ca. 25 % af den samlede NO_x-emission.

Forbedring af effektiviteten

Renere teknologi

Man kan konkludere på analysen, at mht. miljøeffekter forårsaget af energiforbrug, er betydningen af fremstillingsfasen forsvindende i forhold til driftfasen. Vil man gøre denne teknologi renere, må det først og fremmest ske ved en forbedring af effektiviteten i driftfasen, dvs. forbedre forbrændingen, mindske røgtabet og tomgangstabet, og effektivisere varmeafgivelsen etc. Desuden kan man prøve at reducere emissionen af skadelige stoffer ved en forbedring af forbrændingen, brug af katalysatorer etc. En mere effektiv cirkulationspumpe eller brug af naturlig cirkulation vil også give synlige forbedringer specielt m.h.t. NO_x-emissioner. Renere brændsler f.eks. naturgas, vil reducere både CO₂- og SO₂-emissionen. Endelig vil renere transportteknologier påvirke miljøanalysen af varmeanlægget.

Renere brændsler

Reduktion af varmetab

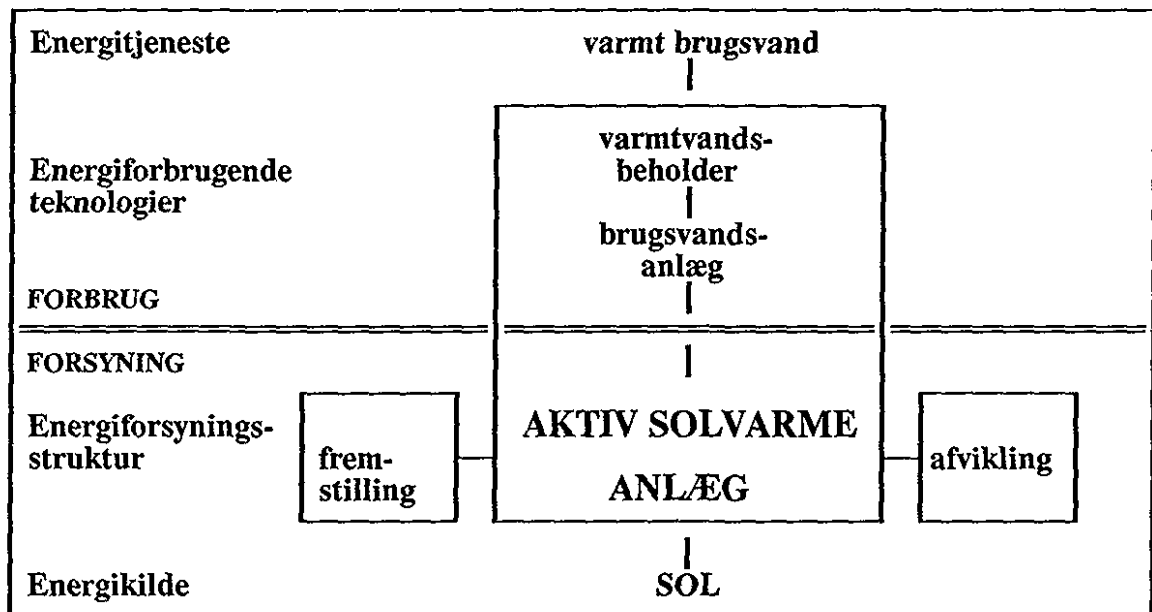
En anden måde at reducere emissionerne i driftfasen, er at *ned-sætte varmetabet*. Ved f.eks. at efterisolere (eller ved godt isoleret nybyggeri) til det halve varmetab, hvilket er realistisk muligt, kan man reducere de nævnte miljøeffekter næsten tilsvarende. Energibesparelsen modvirkes lidt af, at den totale effektivitet af varmeanlægget i driftfasen som regel falder med en lavere udnyttelse af anlægget. Der er dog ingen tvivl om at reduktion af varmetabet er den foranstaltning, der indeholder det største potentiale for reduktion af miljøbelastningerne fra et oliefyret varmeanlæg. Se i øvrigt livsforløbsanalysen for en klimaskærm i afsnit 6.6.

6.11 Aktiv solvarme

Definition af anlæg

Der analyseres et brugsvandsanlæg til 4 personer fra Batec Solvarme A/S. Batec fremstiller solfangerne på 2,2 m², og ud fra et krav om 100 % dækning i 3-4 måneder om året, findes at behovet er 3 solfangere á 2,2 m², i alt 6,6 m². Dækningsgraden er beregnet v.h.a. VE-data's solpakke (ref. 6.11.1), idet varmtvandsforbruget fastlægges til 50 l pr. person pr. dag. Der gives nogenlunde optimale forhold: 45 graders hældning og orientering stik syd.

Figur 6.11.1 illustrerer hvordan et aktivt solvarmeanlæg indgår i en energikæde.



Figur 6.11.1

Placeringen af et aktivt solvarmeanlæg i energikæden for opvarmning af brugsvand.

6.11.1 Fremstilling

Fremstilling af anlæg

Fremstilling af anlægget kan i store træk deles op i tre dele: Lagertanken fremstilles på en maskinfabrik. Solfangerne fremstilles på Batec, og anlægget samles ved monteringen i huset. Vi fokuserer på fremstilling af lagertank og solfangerne, idet energiforbrug og miljøbelastning ved montering negligeres.

Materialeforbrug

Materialeforbrug

Figur 6.11.2 viser materialeforbruget til fremstilling af solfanger og lagertank.

Stykliste for 2,2 m² solfanger:		
aluminiumsprofiler		5,1 kg
aluminiumsbagbeklædning	3 kg	
glas	22 kg	
mineraluld	3,3 kg	
fittings i messing	1,2 kg	
aluminium til absorber	2 kg	
kobber til absorber		1,2 kg
4 muffler samt 6,5 m bånd i syntetisk gummi, 200 g silicone, sort nikkelbelægning til absorber, og 50 aluminiumsnitter.		

Stykliste for 300 l lagertank mm.:

beholder i stål	154 kg
polyurethanskum til isolering af beholder	10,8 kg
15 m kobberrør mellem solfanger og beholder (dette tal varierer efter forholdene)	3 kg
polyurethanskum til isolering af kobberrør	0,9 kg
cirkulationspumpe, typen Grundfos 1535	2,9 kg
Rillsan nylonpulver til rustbeskyttelse indv.	3 kg
polyester pulvermaling udvendigt	
propylenglycol til frostsikring	
diverse elektronik til styring	

Figur 6.11.2

Materialeforbrug til fremstilling af solfanger og lagertank.

Energiforbrug

Energiforbrug

Data for det akkumulerede energiforbrug stammer fra afsnit 6.1. Energiforbrugene er opgjort som forbrug af primære kilder. Figur 6.11.3 viser energiindholdet i solfanger og lagertank.

solfanger:	
aluminium, 10,1 kg	382 kWh
glas, 23 kg	138 kWh
kobber, 1,2 kg	23 kWh
glasuld, 3,3 kg	17 kWh
diverse: messing, silicone, gummi osv.	
tillægges et energiforbrug på 20 kWh/kg,	
vægten anslås til ca. 4 kg (ref. 6.11.2)	80 kWh
I alt for 2,2 m² solfanger	640 kWh
For 6,6 m² giver det ca.	<u>1900 kWh</u>
Lagertank mm.:	
stål, 154 kg	909 kWh
pumpe, 2,9 kg højt forarbejdet stål	38 kWh
kobberrør, 3 kg	59 kWh
Rillsan, 3 kg (ref. 6.11.1)	42 kWh
energiforbruget til fremstilling af poly- esthermaling, propylenglykol og elektronik negligeres	
I alt for lagertank mm. ca.	1000 kWh
Samlet for solfanger + lagertank mm. ca.	2900 kWh

Figur 6.11.3

Energiforbrug til fremstilling af solvarmeanlæg.

6.11.2 Drift

Energi- og ressourceforbrug

Beregning af varmeproduktion Under de i indledningen givne omstændigheder, kan anlægget ydelse beregnes v.h.a. VE-data's solpakke (ref 6.11.1). Der er beregnet en ydelse på 1917 kWh/år eller 290 kWh/m² pr. år. Forsyningskataloget (ref. 6.11.3) angiver en højere ydelse, lidt over 300 kWh/m² pr. år. Vi regner i det følgende med en årsproduktion på 300 kWh/m² pr.år. I alt 2000 kWh for 6,6 m².

Oliefyrs tomgangstab

Det kan diskuteres om sparet tomgangstab skal regnes med som produktion fra solvarmeanlægget. I en mere komplet samling af livsforløbsanalyser er svaret nej, idet tomgangstabet kommer ind under oliefyrets forbrug under drift. Her laver vi en beregning med og uden tomgangstab fra en nyere kedel. Tomgangstabet sættes til 350 W (ref. 6.11.2). Ifølge solpakkens beregninger opnås 100 % dækningsgrad i 4 måneder, hvorfor det sparede tomgangstab bliver ca. 1000 kWh/år.

Varmeproduktion

Nettoproduktionen fra anlægget bliver herefter:

<i>Med</i> tomgangstab indregnet:	3000 kWh pr. år
<i>Uden</i> tomgangstab indregnet:	2000 kWh pr. år

Cirkulationspumpe

Solvarmeanlægget har et elforbrug til drift af cirkulationspumpen. Der regnes med en årlig drifttid på 1500 timer, hvilket giver et årligt elforbrug på 53 kWh til cirkulationspumpen. Omregnet til primær energi, ved total elvirkningsgrad på 0,27 an forbruger, bliver det 196 kWh.

Der er ingen restprodukter under normal drift.

Miljø

Emissioner og miljøeffekter

De mulige miljøeffekter er eventuelle visuelle gener og forurening som følge af eventuelle lækager af frostsikringsvæske.

Arbejds miljø

Arbejds miljø

Anlægget kræver ingen pasning under normal drift, hvorfor muligheden for arbejds miljøproblemer er minimal.

Arbejds miljø

Levetid

Der regnes med en levetid for hele anlægget på 20 år (ref. 6.11.10)

6.11.3 Afvikling

Energi- og ressourceforbrug

I lighed med montering af anlægget regnes der ikke med noget væsentligt energiforbrug til afvikling af anlægget.

Genanvendelse

Genanvendelighed

Det skønnes at alt stålet kan genanvendes, og genanvendelsen kan finde sted i Danmark. Aluminium kan ligeledes genanvendes, men dette finder i dag ikke sted i Danmark, hvorfor der vil være et energiforbrug til transport forbundet med genanvendelsen. Alt det anvendte glas kan genanvendes. CFC-gasser i isoleringsmaterialet er meget dyrt at genindvinde, men det kan gøres.

Polyurethanskum

Emissioner og miljøeffekter

Polyurethanskummet er af typen S307 fra firmaet Baxenden. Det indeholder 7,5 % (vægt) CFC 11, hvilket vil sige at der ved destruktion af anlægget kan emitteres 0,9 kg CFC 11. CFC-gasser virker nedbrydende på ozonlaget og er endvidere en meget kraftig drivhusgas.

Transport

Der ses bort fra transport ved afvikling.

6.11.4 Samlet analyse

Energiproduktion

Energifaktor

Med en levetid på 20 år producerer anlægget i sin levetid 58.000 kWh. I løbet af livsforløbet forbruger anlægget 2900 kWh til fremstilling og ca. 7.500 kWh solindstråling pr. år og ca. 200 kWh kul pr. år til elproduktion. Energiinputtet i anlægget i livsforløbet bliver derved ca. 160.000 kWh, hvilket giver en energifaktor på 0,37. Regnes tomgangstabet ikke med bliver livsproduktionen 38.000 kWh, og energifaktoren bliver 0,24.

Energiforbrug

Energifaktor

Fossil energifaktor

Fossil energifaktor

Det fossile energiforbrug der er ved driften af anlægget stammer fra cirkulationspumpen, ca. 200 kWh/år. Dertil kommer energiforbruget til fremstilling på 2900 kWh. I alt er det fossile energiforbrug i livsforløbet ca. 6900 kWh, hvilket giver en fossil energifaktor på 8,4, når tomgangstabet regnes med, og 5,5 ellers.

Emissioner

Miljømæssig vurdering

Et solvarmeanlæg benytter solen som primær energikilde, og har således ikke nogen direkte emission under drift. Kulforbruget til produktion af el til cirkulationspumpen giver dog inddirekte anledning til emission af CO₂, NO_x, SO₂ og en række tungmetaller.

Sparede emissioner

Det fortrængte forbrug af den fossile energikilde olie og de tilhørende sparede emissioner ved anvendelse af et solvarmeanlæg fremfor oliefyr fremgår af figur 6.11.4. Tomgangstab er i denne beregning inkluderet, ved at anvende en gennemsnitlig årsvirkningsgrad for oliefyring, hvori der er taget højde for den mindre effektivitet i sommerhalvåret.

	Energiforbrug (kWh)	Emissioner		
		CO ₂ (ton)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)
Fremstilling	2.900	1,2	0,6	4,1
Drift				
-solvarme	-40.000	-16,8	-31,6	-16,8
-elforbrug	1.060	1,3	0,6	4,5
Totalt	-36.040	-14,3	-30,4	-8,2

Figur 6.11.4

Fortrængt fossilt energiforbrug og sparede emissioner ved anvendelse af solvarme fremfor oliefyring.

Arbejdsmiljø

Den øvrige miljøbelastning som følge af emissioner af ikke-energi-relaterede stoffer ved fremstilling, er svær at vurdere uden en nærmere undersøgelse af de enkelte virksomheder der er involveret.

Drivhuseffekt

Ved afvikling af anlægget udgør polyurethanskummet et væsentligt problem. Man kan v.h.a. ref. 6.11.11 og 6.11.12 beregne at drivhuseffekten forårsaget af CFC-gassen, som må forventes at slippe ud, vil være ca. 5 gange større end drivhuseffekten forårsaget af CO₂-emission fra afbrændingen af den olie anlægget vil fortrænge i sin levetid. Her er tomgangstabet regnet med. Det skyldes at CFC er en ca. 15.000 gange kraftigere drivhusgas end CO₂ (ref. 6.11.11).

Ændrede materialevalg

Renere teknologi

Som det fremgår af ovenstående, er en erstatning af CFC-opskummet isolering en afgørende miljømæssig forbedring. Den CFC-opskummede isolering er anvendt til isolering af lagertanken. Den kan imidlertid lige så godt være isoleret med mineraluld. Substitution af aluminiumsprofiler mm. med andre mere energilette materialer, eller genbrugsaluminium, vil reducere energiforbrug og emissioner i fremstillingsfasen. Solvarmeanlæg med naturlig cirkulation (disse er under udvikling) vil eliminere det fossile energiforbrug i driftfasen og fordoble den fossile energifaktor. Lagertanken kan desuden fremstilles af andre og mere energilette materialer, evt. kan den bygges op på stedet.

6.12 Konklusion vedr. livsforløbsanalyser

Inhomogene LFA

De i dette kapitel gennemførte livsforløbsanalyser er noget inhomogene, hvilket skyldes, at det drejer sig om en række forskellige typer af teknologier (fossile og vedvarende energiforsyningsteknologier samt energibesparende forbrugsteknologier). De konklusioner der kan drages fra i alt 10 "førstegangsanalyser" er i alt væsentligt metodemæssige overvejelser, samt nogle grove bud på hvordan de forskellige typer af teknologier står i forhold til en vurdering af renere teknologi på energiområdet.

Viden på energiområdet

Den viden, der er opnået, er primært indenfor energiområdet, hvilket skyldes at det er svært at få viden fra andre videnskabelige netværk (miljø og arbejdsmiljø). Livsforløbsanalyser er i høj grad en tværfaglig disciplin, hvorfor projekter af denne art allerede fra starten bør inddrage flere af de relevante faggrupper. Kun derved kan man sikre et rimeligt højt vidensniveau på alle områder af analysen.

Tværfaglige grupper

Det anbefales at iværksætte tværfaglige projektgrupper til arbejdet med livsforløbsanalyser og renere teknologi-analyser, for derved at få tilstrækkelig adgang til viden på både materiale-, energi-, ydre miljø- og arbejdsmiljøområdet.

6.12.1 Gennemførelsen af livsforløbsanalyser

Afgrænsningsproblemer

Dataindsamling

Indsamling af data indeholder et afgrænsningsproblem, idet man ikke kan vide hvor detaljeret man skal gå til værks, dvs. hvornår og i hvilke mængder er et stof ikke længere interessant. Denne viden opnås nok først igennem erfaring med mange livsforløbsanalyser.

Oplysninger fra virksomheder

Det har vist sig forholdsvis nemt at få fat på materialeindholdet i teknologierne, men når det gælder de mere interne forhold på virksomhederne, er det sværere at få oplysninger. Dette gælder f.eks. virksomhedens energiforbrug pr. produceret enhed, restprodukter, spildevand etc., som vi i mange tilfælde ikke har med i analysen, ligesom arbejdsmiljøproblemer er svære at få oplyst. Vi må dog formode, at det kan lade sig gøre såfremt man kan indgå en form for samarbejde med enkeltvirksomheder eller brancher om den enkelte teknologi. Det har af gode grunde ikke været muligt i denne udredning.

Samarbejdsprojekter

Afvikling

Ligeledes har det vist sig at være svært at få energiforbrug og miljøforhold kvantificeret mht. afvikling af teknologierne. Hvad koster det i energi at sortere, genbruge, forbrænde eller deponere udslidte teknologier osv. Som oftest er det blevet ved de kvalitative betragtninger. Også transportindholdet i teknologien og i brændslerne er vi oftest gået (for) let hen over.

Transport

Beregning af energiindhold

Beregninger

Beregning af energiindhold i materialerne har været baseret på nogle gamle tal, hvoraf de vigtigste er forsøgt opdateret. Mange materialer er importeret fra lande, der bruger energikilder, der er væsentligt anderledes end dem, der anvendes i Danmark. Ved at definere kul som den globalt marginale energikilde, har der ikke været de store problemer med det.

Checkliste

Med udarbejdelsen af en checkliste, blev de anvendte beregninger mere ensartede. Det er således en god ide med en checkliste, specielt hvis man vil sammenligne flere teknologier. Uden checklisten bliver det nemt tilfældigt, hvilke oplysninger der kommer med, pga. oplysningers varierende tilgængelighed.

6.12.2 Anvendelse af livsforløbsanalyser

Bred miljømæssig vurdering

Det er ikke umiddelbart nemt at lave en bred miljømæssig vurdering på grundlag af de analyser vi her har lavet. Dertil er de for usikre endnu. Men alligevel har det vist sig at livsforløbsanalyserne har givet nogle interessante resultater.

Energifaktorer

De ti livsforløbsanalyser gav de i figur 6.12.1 viste energifaktorer.

energiteknologi	energifaktor	fossil energifaktor
el-teknologier:		
-lavenergipærer		∞
-køleskab		5,9
-elgryder		5 - ∞
-vindmøller		37
-solceller: krystallinske	0,10 - 0,12	0,75 - 0,8
amorfe	0,05	0,3
-kulfyret kraftværk	0,29	0,29
-varme-teknologier:		
-passiv solvarme		1,1 - 5,9
-bygningisisolering		39
-aktiv solvarme	0,37	8,4
-oliefyret opvarmning	0,63	0,63

Figur 6.12.1

Energifaktorer for de ti analyserede energiteknologier.

Energifaktor

Med de fossile referenceteknologier (oliefy og kulkraft) vil energifaktoren for forbrugsteknologierne være den samme som den fossile energifaktor. Energifaktoren for en energiforsyningsteknologi skal forstås som en slags livsforløbseffektivitet, som udtrykker, hvor effektiv den enkelte teknologi er til at udnytte den pågældende energikilde. Energifaktoren giver altså ikke mening ved sammenligning med andre energiteknologier, men kan fortælle os om de teoretiske muligheder for en energimæssig forbedring af teknologien, altså muligheden for at reducere energiforbruget til fremstilling, drift eller afvikling af teknologien. Anvendeligheden af den her anvendte energifaktor kan diskuteres, og den kan ihvertfald ikke bruges til en vurdering af, om nogle energiteknologier er mere miljøvenlige end andre.

Energimæssig forbedring

Fossil energifaktor

Den fossile energifaktor derimod, fortæller os om udbyttet eller besparelsen af den producerede energiform (her: el eller varme) i forhold til forbruget af fossile brændsler. For eksempel får vi omkring 8 MJ varme ud af et aktivt solvarmeanlæg for hver MJ fossilt brændsel vi bruger i solvarmeanlæggets livsforløb, mens det oliefyrede opvarmningsanlæg yder 0,63 MJ varme for hver MJ fossilt brændsel der bruges.

Brændselsudnyttelse

<i>Reducere brændselsforbrug</i>	Hvis målet på langt sigt er at reducere det fossile brændselsforbrug, bør man altså vælge de teknologier, der har størst fossil energifaktor. Det ses i figur 6.12.1 ikke overraskende, at energibesparende teknologier og vedvarende energianlæg er dem, der er mest effektive i forhold til det fossile brændselsforbrug i livsforløbet. Desuden kan man se, at de ældste og mest kommercialiserede teknologier blandt besparelseteknologierne (mineraluldisolering og elgryder) og blandt de vedvarende energianlæg (vindmøller og aktiv solvarme), også er blandt dem med de højeste fossile energifaktorer. Omvendt kan man se, at f.eks. amorfe solceller, på deres nuværende teknologiske udviklingsstade, ikke er nogen forbedring i.f.t. kulfyret kraftværk m.h.t. fortrængning/forbrug af fossile brændsler.
<i>Højeste energifaktor</i>	
<i>Amorfe solceller</i>	
<i>Betydning af energiindholdet</i>	Det tyder på, at der er en stærk sammenhæng mellem den kommercielle udnyttelse af energiteknologier og energiindholdet i teknologien. Energiindholdet i de idag fuldt kommercielle fossile energiteknologier, som oliefyr og kulkraftværker, er næsten ubetydeligt i forhold til energistrømmene i driftfasen, og energiindholdet i energibesparende teknologier og vedvarende energianlæg er alt afgørende for den fossile energifaktor. Det lyder da også umiddelbart fornuftigt, at brug af materialer med lavt energiindhold og en energieffektiv produktionsmetode, giver den bedste energiteknologi. Det skal dog huskes, at ingen af de livsforløbsanalyser, vi her baserer os på, har været i stand til at bestemme energiforbruget til afvikling af teknologien, så livsforløbsanalyserne er ikke fuldstændige.
<i>Afvikling</i>	
<i>Miljø og arbejdsmiljø</i>	Energifaktorerne er kun baseret på energimæssige forhold og fortæller således ikke direkte om nogle af teknologierne reelt er renere for ydre miljø og arbejdsmiljø.
<i>Emissioner fra energianvendelse</i>	Emissioner og miljøeffekter Så længe der kun bruges et enkelt referencesystem (olie til varme og transport, samt kul til elfremstilling), vil forskellen i emissionerne hidrørende fra energianvendelsen ikke været betydeligt anderledes end forskellen udtrykt ved energifaktorerne. Derimod kan vurderingen af energiteknologierne påvirkes betydeligt, når der medtages emissioner og miljøeffekter af andre stoffer end dem, der hidrører fra energianvendelsen. Som eksempel kan nævnes de helbredsrisici, der er ved fremstilling af amorfe solceller, eller påvirkningen af drivhuseffekt og ozonlag, hvis CFC-indholdet i f. eks. køleskabsisolering ikke opsamles.
<i>Andre emissioner</i>	
<i>Indsatsområder</i>	Renere teknologier på energiområdet Livsforløbsanalyser kan med de nuværende erfaringer, tilsyneladende bruges til at udpege områder i energiteknologiens livsforløb, hvor man med fordel kan gribe ind for at gøre teknologien renere. Vi har set eksempler på at renere teknologier kan opnås ved f.eks. ændret materialevalg (konstruktions- og isoleringsmaterialer), ændret brændselsvalg, øget genbrugsvenlighed, bedre indsamlingsordninger etc. Vi må foreløbig konkludere, at livsforløbsanalyser tegner sig som en god metode til at fremme udviklingen af renere teknologier generelt (ikke kun energiteknologier). Der er dog behov for et større erfaringsgrundlag i udførelsen af livsforløbsanalyser, og mere detaljerede konkrete eksempler (case-studier) på anvendelsen af livsforløbsanalyser vil vise om metoden også er praktisk anvendelig på virksomhedsniveau.
<i>Flere erfaringer</i>	

<i>Måltrettede sammenligninger</i>	Anvendelsesområder Livsforløbsanalyser kan anvendes til mere målrettede sammenligninger f.eks. kan teknologierne sammenlignes på tværs med henblik på: - opfyldelse af samme energitjeneste - reduktion af primær- eller sekundærenergiforbrug - reduktion af bestemte emissioner og miljøeffekter
<i>Sammenlignelige teknologier</i>	Formålet med sammenligningen vil være bestemmende for hvilke teknologier, der med mening kan sammenlignes. Hvis man vil finde den reneste måde at vaske tekstiler på, kan man selvfølgelig kun sammenligne vasketeknologier. Hvis man derimod f.eks. vil reducere forsurelseffekten, kan man næsten sammenligne alle energirelaterede teknologier.
<i>Referenceproblem</i>	I forbindelse med disse sammenligninger, er det vigtigt at få afklaret referenceproblemet. M.h.t. energiforbruget til materialefremstilling er der ofte tale om energiforbrug i andre lande og der kan således være tale om både vandkraft, atomkraft, kul mm. Desuden ændrer referencen sig med tiden.
<i>Anvendelse af LFA</i>	Generelt bør livsforløbsanalyser kunne bruges til vurdering af såvel nye energiteknologier som eksisterende teknologier. For mange af de gammelkendte teknologier vil det dog oftest være sådan, at energiforbruget til fremstilling udgør en lille del i.f.t. energistrømmene i driftfasen, hvorfor spørgsmålet om renere teknologi for disse teknologier som oftest vil blive et spørgsmål om reduktion af energibehovet, forbedring af energieffektiviteten og reduktion af emissioner og effekter på ydre miljø og arbejdsmiljø. Dette gælder dog kun når man taler om energiteknologier. Livsforløbsanalysen kan som metode bruges på en række områder, som en generel metode til udvikling af renere teknologier.

6.12.3 anbefalinger til nye projekter

<i>Nye projekter</i>	Der er behov for en yderligere udvikling af livsforløbsanalyser som metode. Dette inkluderer flere delområder, hvoraf nogle griber ind i hinanden: 1) Undersøgelse af betydningen af den tidsmæssige og geografiske variation af reference energisystemet. 2) Opdatering af data for energiindhold i materialer. Et projekt under Energiministeriets forskningsprogram vedr. energiindhold i byggematerialer er igangsat, men andre produkter som f.eks. elektronik er ikke med i dette. 3) Udvikling af metode til beregning af energiforbruget til forarbejdning af materialer ved fremstilling af energiteknologier (og andre produkter). Dette inkluderer "overhead"-energiforbrug til belysning, komfortvarme, ventilation og administration på virksomhederne. 4) Udvikling af metode og oprettelse af datagrundlag for opgørelse af energiforbrug og miljøeffekter ved afvikling af energiteknologier (deponering, genbrug, forbrænding mm)
----------------------	--

- 5) Indsamling af viden om sammenhængen mellem arbejdsmiljø og ydre miljø.
- 6) Påbegyndelse af et katalog over livsforløbsenergiforbrug og andre nøgletal som planlægningsværktøj for energiplanlæggere i stat, amt, og kommune.
- 7) Sidst, men ikke mindst: Detaljerede case-studier, som kan medvirke til en generel udvikling af livsforløbsanalysemetoden, samt vise om metoden er praktisk anvendelig til udvikling af renere teknologier på virksomhedsniveau.

7. Konklusioner og anbefalinger

<i>RT på energiområdet</i>	En vurdering af renere teknologi på energiområdet, må nødvendigvis forklare hvad begrebet "renere" dækker over. Er der tale om reduktion af luftforurening forstået som færre emissioner af CO₂, SO₂, NO_x, tungmetaller osv., eller dækker det også over emissioner af disse og andre stoffer til vand og jord? Desuden kan man spørge sig selv om en analyse af renere teknologi på energiområdet, skal omfatte de energimæssige konsekvenser alene, eller også både ydre miljø og arbejdsmiljø? Vores opfattelse er at det hele skal inddrages i analyserne, ellers er der ikke tale om renere teknologi på den måde det flere steder er blevet fastlagt. Men alle renere teknologianalyser kommer alligevel til at koncentrere sig om nogle enkelte effekter, og denne analyse er ikke anderledes.
<i>Energiområdet</i>	Samtidig må det pointeres, at opfattelsen af "energiområdet" i dette projekt er meget bred. Energiområdet omfatter alle traditionelle økonomiske sektorer, idet der alle steder enten forbruges og/eller produceres energi. Det er vigtigt at være opmærksom på at energiområdet ikke kun omfatter energiproduktionssektoren, men dækker over alle steder i samfundet, hvor menneskeskabte energistrømme findes. Man kan altså tale om renere energiteknologier i såvel industri, handel og service, boligsektoren, offentlig sektor, energisektor, som i landbrug og gartneri.
<i>Nuværende målsætning for RT</i>	Energisystemets kompleksitet Et energisystem er en flerleddet størrelse, jvf. kapitel 2, hvor de enkelte led influerer på hinanden. Energiforbrug kan i sig selv give miljøproblemer, afhængig af på hvilken måde energien fremstilles, og i hvilket forsyningssystem det indgår. Tager man udgangspunkt i det nuværende energisystem i Danmark, er der dog ikke så store problemer med vurderingen af hvad målet er for indføring af renere energiteknologier. Energiforsyningen i dag er 99% baseret på fossile brændsler, som vi kender de uheldige miljøkonsekvenser af, så tvivlen er ikke så stor set ud fra et miljømæssigt synspunkt: forbruget af fossile brændsler skal reduceres. Derimod kan der godt være tvivl, hvis vi snakker om et fremtidigt energisystem, hvor miljøeffekterne af forsyningssiden er betydeligt reducerede. Miljøeffekter som stammer fra andre steder i systemet vil hermed få en større betydning. Det tidligere anvendte eksempel fra kap. 2 med lysstoflamperne der sparer el, men indeholder kviksølv, er et godt eksempel på dette. Samtidig kan man hævde, at forudsætningen for en miljøvenlig energiforsyning netop er et meget lavt energiforbrug, hvorved der er skabt en tilbagekobling. Der er et behov for at der laves sådanne vurderinger, hvor der sammenlignes med forskellige referencesystemer.
<i>Fremtidige målsætninger</i>	
<i>Referencesystem</i>	
<i>Afvejning af miljøeffekter</i>	Afvejning af miljøeffekter Specielt med indførelsen af livsforløbsanalyser kommer man ud i at skulle afveje miljøproblemer som følge af energiproduktion, med andre miljøeffekter ved fremstilling og ved udledning af spildprodukter og farlige stoffer ved afvikling af teknologien. Vi vil i afsnit 7.1 komme ind på hvordan man kan sammenveje nogle af disse miljøeffekter, og derved på en række områder vurdere hvilke teknologier, der er renere end andre. Afgrænsning af udredningen En vurdering af miljøeffekterne af bestemte teknologityper, f.eks. som her: energiteknologier, vil uafvigeligt på et tidspunkt blive af

Generelle miljøproblemer

en mere generel karakter. Dvs. at de miljøproblemer der findes, ikke er specielt tilknyttet energiteknologier. Ikke desto mindre er de en del af energiteknologiernes miljøproblemer, og dermed en del af spørgsmålet om renere teknologi på energiområdet. Som eksempel kan nævnes overfladebehandling: Størstedelen af energiteknologierne vil være overfladebehandlede på en eller anden måde. Dette kan give anledning til såvel arbejds- som ydre miljøproblemer i fremstillingsfasen og måske også senere ved afvikling (skrotning) af teknologien. Dette gælder imidlertid også alle andre produkter til anvendelse i andre sektorer i samfundet, og er således et problem, der ikke er knyttet specielt til energiområdet. I dette projekt er disse miljøeffekter kun nævnt i det omfang vi har kendskab til, at overfladebehandlingen er specielt problematisk set i et bredt miljømæssigt perspektiv (f.eks. epoxy-maling eller PVC-belægning). Det, at vi har gået let henover de generelle miljøproblemer, betyder altså ikke, at de er uvæsentlige for energiområdet, men blot at de er af en generel type, som må tages op generelt. Analyser af de enkelte generelle problemer eksisterer allerede på en del områder som f.eks. PVC, overfladebehandling m.fl. Det nye er at de nu bør sættes ind i en bredere sammenhæng, og i dette tilfælde altså specielt i forbindelse med energiteknologier.

Bredere sammenhæng

Energi- og miljømæssige vurderinger

7.1 Prioriteringsværktøj

Når det skal vurderes om en energiteknologi er renere end andre, kan det gøres på flere niveauer. Der kan dels være tale om forskellige typer energimæssige vurderinger, dels nogle egentlige miljømæssige vurderinger. De miljømæssige vurderinger vil kunne foretages på forskellige niveauer. Man kan sammenligne energiteknologierne m.h.t. udledning af forskellige miljøfarlige stoffer (f.eks. SO_2 eller kviksølv) igennem et helt livsforløb, eller man kan forsøge at opgøre de *egentlige miljøeffekter* (drivhus-effekt, kræftisiko) for de enkelte teknologier. For de enkelte vurderingstyper kan man forsøge at opstille nogle nøgletal til hjælp ved en evt. prioritering. Det skal dog pointeres, at det ikke kan tilrådes at basere en miljømæssig vurdering på sådanne nøgletal alene, men nøgletal kan være med til at underbygge en vurdering af renere energiteknologier.

Det er generelt svært at lave brede sammenligninger, og man har som regel også noget mere specifikt i tankerne, når der laves en renere teknologivurdering. I det omfang man ikke bevidst undgår at medtage visse miljøgener, synes vi det er i orden at foretage nogle mere snævre vurderinger.

Energimæssig vurdering

Energivurderinger

Man kan foretage en ren energimæssig vurdering af hvor energioekonomisk teknologien er. Relevansen af en sådan analyse, vil nogle hævde, forudsætter, at energiforbrug i sig selv giver anledning til forurening, hvilket dog med det nuværende energisystem er en rimelig forudsætning (fremgår f.eks. af afsnit 4.2). En sådan energimæssig analyse bør omfatte hele livsforløbet, og således resultere i en slags livseffektivitet. Det er dog med dette tal kun muligt at sammenligne fossile brændselsteknologier med andre fossile energiteknologier, VE-teknologier med VE-teknologier og besparelseteknologier med besparelseteknologier. Dette skyldes at netop energiforbruget ikke er af samme art i de tre tilfælde. Det giver f.eks. ingen mening at opfatte fossile energikilder ligeværdigt med f.eks. vindenergi, hvad angår de miljømæssige effekter.

*Vurdering med hensyn til
fossile brændsler*

Da CO₂-emissionerne og størstedelen af SO₂-emissionerne, samt emissionerne af mange tungmetaller stammer fra fossile brændsler, er det også relevant at beregne energieffektiviteten m.h.t. fossile brændsler. Herved kan alle teknologityperne sammenlignes - i hvert fald som en grov vurdering - m.h.t. ovennævnte emissioner. Man kunne også anlægge en lidt bredere synsvinkel ud fra det synspunkt at alle former for forbrænding som regel medfører emissioner af miljøskadelige stoffer. Det vil ikke være helt entydigt hvilke miljøeffekter, der sammenlignes m.h.t., men en sådan brændseffektivitet over livsforløbet, kan give et prioriteringsredskab med hensyn til indsatser overfor luftforurening, samt jord- og grundvandsforurening fra deponering af røgrensningsprodukter. Der er dog stadig tale om nogle ret upræcise prioriteringsværktøjer, idet det ikke præciseres, hvilke miljøfremmede stoffer, der fokuseres på.

Vurdering mht. emissioner

Emissionsorienteret vurdering

En anden måde at vurdere energiteknologierne indbyrdes på er, at opgøre de samlede emissioner i energiteknologiens livsforløb af bestemte stoffer, f.eks. CO₂, SO₂, NO_x, dioxiner, og diverse tungmetaller, som cadmium, kviksølv og bly. På denne måde kan man vurdere "renheden" af energiteknologier m.h.t. de enkelte emissionstyper. En sådan vurdering vil være velegnet, hvis der planlægges en indsats til reduktion af en bestemt emissionstype.

Opgørelse af miljøeffekter

Direkte miljøeffekt-vurdering

Den ultimative RT-vurdering af energiteknologier vil være en opgørelse af de endelige miljøeffekter, dvs. de skader som rent faktisk er en trussel for økosystemerne og menneskers liv og sundhed på jorden. Energiforbrug i sig selv, er jo ikke direkte farligt. Emission af CO₂, NO_x, SO₂ o.m.a. er jo heller ikke i sig selv en sundhedsfare for mennesker, så længe de befinder sig højt oppe i luften. Vi har altså her et problem med at sammenligne miljøeffekterne, hvis vi opfatter dem som stofemissioner. Flere af stofemissionerne medvirker imidlertid til de samme egentlige miljøeffekter som f.eks. forsurening og skovdød, forøgelse af drivhuseffekten og nedbrydning af ozonlaget.

Specifikke miljøeffekter

En samlet vurdering af påvirkningen fra den enkelte teknologi på disse egentlige miljøeffekter, bør kunne give en vurdering af den pågældende energiteknologi m.h.t. den specifikke miljøeffekt:

Drivhuseffekt

Drivhuseffekten påvirkes af følgende drivhusgasser: CO₂, CFC, haloner, methan, ozon og lattergas. En vurdering af de enkelte energiteknologiers påvirkning af drivhuseffekten vil derfor skulle indeholde en samlet opgørelse af de stoffer, der påvirker drivhuseffekten, vægtet efter hvor stor en virkning de enkelte stoffer har. Derved fås et enkelt mål for hver energiteknologis virkning på drivhuseffekten. Ved denne vurderingsmetode vil fossile brændsler formodentlig stå dårligt.

Forsuring

Tilsvarende bør forsureningseffekten kunne opgøres på basis af emissionen af NO_x, SO₂ o.a., hvis man kan definere/måle forsureningseffekten forårsaget af den enkelte emission. Ved anvendelsen af denne metode vil formodentlig alle brændselsbaserede energiteknologier falde dårligere ud end vedvarende energi og energieffektiviseringer i slutforbruget.

Ozonlaget

Når det gælder nedbrydning af ozonlaget, vil emission af de ozon-

nedbrydende gasser CFC, haloner m.fl. blive afgørende. Denne opgørelse vil i højere grad blive afgjort af hvilke materialer, der anvendes i de enkelte energiteknologier, og hvordan teknologierne afvikles. F.eks. om der bruges CFC-gasser til opskumning af fjernvarmerør, køleskabsisolering mm., og hvordan teknologierne i givet fald afvikles (genanvendelse, deponering, afbrænding el. lign.).

Næringsstoffer

Man kan også undersøge om teknologierne giver anledning til næringsstofforurening, f.eks. p.g.a. kvælstof-emissioner. Denne miljøeffekt hidrører i betydeligt omfang også fra energiteknologierne (transport og elproduktion).

Kræft risiko

Endelig kan man forestille sig at opgøre et eller andet mål for, hvor kræftfremkaldende energiteknologien er i løbet af sin levetid. Med dette mål kan alle teknologityper være udsat, enten p.g.a. brugen af kræftfremkaldende stoffer i fremstillingsfasen som påvirker arbejdsmiljøet eller ventileres ud til det ydre miljø (f.eks. ved produktion af glasfiberremner), eller p.g.a. emissioner under drift af f.eks. PAH'er, dioxin mm. Man kunne evt. bruge et bredere begreb, f.eks. hvor helbredsnedbrydende energiteknologien er. Det er dog svært at finde et fælles mål for dette.

Sundhedsskadelig

Andre miljøeffekter

Der er andre miljøeffekter, hvor man dårligt kan opgøre påvirkningen fra energiteknologierne. Dette gælder f.eks. effekten af tungmetaller, partikler, sporstoffer mm. Det er vigtigt at disse effekter ikke glemmes, bare fordi man ikke kan finde nogle samlende opgørelsesmetoder for disse stoffer.

Prioritering nødvendig

Men selv hvis det er muligt at foretage disse vurderinger, slipper man ikke for at skulle prioritere mellem de forskellige miljøeffekter. Det er derfor afgørende i forhold til det videre arbejde med at reducere miljøforureninger og indføre renere teknologier, at *politikere og miljøadministration opstiller en prioritering af miljøeffekter*. Først når der fra politisk side er meldt ud med hvilke miljøeffekter man vil sætte størst pris på at få reduceret, er det muligt at foretage egentlige prioriteringer mellem bl.a. energiteknologier. Der er et åbenlyst behov for nogle klare miljømæssige målsætninger. En optimal målsætning om renere teknologi, uden prioriteringer mellem de forskellige miljøeffekter, er vanskelig at følge, set i lyset af de begrænsede samfundsøkonomiske ressourcer

7.2 Hvordan opfyldes en målsætning om renere teknologi på energiområdet

Indhold af afsnit

I dette afsnit fremdrages de konkrete konklusioner fra kapitel 3, 4, 5 og 6 om, hvordan renere teknologi kan indføres inden for hele energisystemet. For forbrugssiden opgøres potentialerne for energibesparelser i driftperioden, og for forsyningssiden vurderes, hvordan emissionerne fra energiproduktionen kan reduceres. Ved systembetragtningerne analyseres, hvordan energisystemet kan gøres mere flexibelt og inddrage størst mulig mængde vedvarende energi.

LFA inddrages

Når energiteknologier vurderes i renere teknologi sammenhæng, er det vigtigt at vurdere miljøeffekterne for hele teknologiens livsforløb, altså vurdere energiforbrug og emissioner under frem-

stilling, drift og afvikling. Som eksempler på dette inddrages resultaterne fra kapitel 6.

7.2.1 Forbrug

- Besparelser i driftsfasen* Renere energiteknologi inden for forbrugsområdet vil hovedsageligt være besparelser på energiforbruget i driftsfasen, idet vores undersøgelser viser at denne fase er årsag til den største miljøbelastning. Såfremt energiforbruget reduceres vil emissionerne mindskes tilsvarende. Kapitel 3 viser, at der er store potentialer for tekniske energibesparelser i driftperioden for alle de omtalte sektorer: elanvendelse, opvarmning, transport og proces.
- Miljøfremmede stoffer* Desuden skal teknologien vurderes for forbrug og indhold af miljøfremmede stoffer, som tungmetaller, opløsningsmidler, PVC, mm, som vil blive frigivet til omgivelserne enten ved fremstilling, drift eller afvikling. I den forbindelse kan nævnes lysstoflamper, som kan betegnes som en renere teknologi, idet elforbruget kun er 1/5 af forbruget til glødelamper, men lysstoflampen indeholder kviksølv. Vi har dog beregnet i livsforløbsanalysen (afsnit 6.2) for lysstoflamper, at dette indhold er mindre end den emission af kviksølv, som kulkraftværkerne sparer ved det mindre elforbrug. Derudover er der en mulighed for indsamling af de udslidte lysstoflamper. Tilsvarende mulighed eksisterer ikke for kviksølvemissionen fra kraftværker, så lysstoflamper kan stadig betegnes som en renere teknologi.
- Minimalt ressourceforbrug* For at en forbrugsteknologi i sin yderste konsekvens kan betegnes som en renere teknologi end andre, skal forbruget af miljøfremmede stoffer absolut minimeres (helst undgås), energiforbruget i hele livsforløbet minimeres og ressourceforbruget iøvrigt minimeres.
- Tekniske elbesparelser* **Elforbrug**
I afsnit 3.2.1 er angivet, at mulighederne for tekniske elbesparelser på længere sigt er store. Det vil være muligt med en målrettet indsats inden for forskning og teknologisk udvikling, at markedsføre elektriske apparater, som, hvis de erstatter de nuværende apparater, vil reducere elforbruget i Danmark med 60%, forudsat at energitjenesteniveauet holdes konstant.
- Belysning* Energiforbruget til belysning har på nuværende tidspunkt et stort besparelspotentiale med lysstoflamper, dog med det men at de som ovenfor nævnt indeholder kviksølv. Desuden kan bygninger udformes så dagslyset udnyttes i højere grad, og lampearmaturer kan udformes, så en større del af den udsendte lysmængde kan udnyttes. Endelig kan en bedre styring af belysningen efter behov spare en stor del af el til dette formål.
- Motorer* Motorer kan styres efter behov, og specielt til ventilation kan motorkraften mange steder erstattes med systemer baseret på naturlig ventilation.
- Madlavning* Ved madlavning kan substitution med gaskomfurer (natur- eller biogas) reducere brændselsforbrug og emissioner fra forbrændingen i det nuværende elforsyningssystem. Brug af gaskomfurer medfører dog at NO_x-emissionerne, udover den regionale forsurings- og næringsstofeffekt, også får lokal effekt (dårligt boligmiljø for udsatte grupper). Også med bibeholdelse af elektrisk madlavning kan der opnås betydelige tekniske besparelser i elforbruget.

<i>Rumvarme</i>	Komfortvarme baseret på el kan med stor fordel substitueres med kraftvarme og solvarme. Dermed reduceres det primære brændselsforbrug og emissionerne. Behovet for komfortvarme kan selvfølgelig også reduceres ved isolering mm. som nævnt i næste afsnit.
<i>Emissioner</i>	Elproduktion totalt (incl. el til opvarmning, proces og transport) er årsag til emissioner af store mængder CO ₂ , SO ₂ og NO _x til luft.
<i>Reduktion af emissioner</i>	Ved at indføre besparelseteknologier kan disse emissioner gennemsnitligt reduceres med en procentdel svarende til det mindre forbrug af el. Med en reduktion af elforbruget på 60%, samme energiforsyningsstruktur og energitjenesteniveau, vil emissionerne kunne reduceres med ca. 15 mill. tons CO ₂ , 86.000 tons SO ₂ og 70.000 tons NO _x .
<i>Varmebesparelser</i>	Opvarmning Potentialet for energibesparelser inden for rumopvarmning i driftsfasen er op mod 100%. Der bygges idag huse som udelukkende opvarmes af gratisvarme. Det er dog energikrævende at efterisolere og montere passive solvarmeanlæg (etablering), og en livsforløbsanalyse for besparelseteknologierne, hvor energiforbrug til besparelsen sammenholdes med den sparede energimængde, er nødvendig for at optimere besparelsetiltagene.
<i>Varmt brugsvand</i>	Det skal dog bemærkes, at man skal bruge en opvarmningsform til det varme brugsvand. Besparelspotentialet for dette ligger på ca. 30%, idet aktive solvarmeanlæg ikke er medregnet i dette potentiale.
<i>Forurening fra transport</i>	Transport Forureningen fra transportsektoren kommer hovedsagelig fra afbrænding af olieprodukter i forbrændingsmotorer lokalt, dvs. på stedet hvor energitjenesten ydes. Dette medfører en stærk belastning af det lokale miljø, samtidig med forureningen af det globale miljø med bl.a. CO₂, SO₂ og NO_x. I lokalmiljøet er specielt NO_x, SO₂, CO, kulbrinter (herunder PAH), partikler, ozon og bly meget skadelige.
<i>Renere teknologi</i>	Renere teknologier inden for transportområdet kan derfor både være besparelseteknologier og teknologier, der anvender andre drivmidler. Desuden vil ændringer i strukturen i transportsektoren kunne mindske forureningen f.eks. ved at benytte andre og mindre forurenende transportmidler til transportarbejdet (f.eks. bus/tog kontra bil, godstog kontra lastbil).
<i>Infrastruktur</i>	Ud fra et besparelssynspunkt er det også vigtigt, at infrastrukturen ikke lægger op til en øget trafikudvikling på især de mindst energiøkonomiske og mest miljøbelastende transportmidler (f.eks. ved anlæg af broforbindelser, især bilbroer).
<i>Besparelseteknologier</i>	Besparelseteknologier kan bestå i forøgelse af motorernes virkningsgrader, reduktion af vægt, rulle- og luftmodstand samt indvinding af bremseenergi.
<i>Andre drivmidler</i>	Andre drivmidler kan være naturgas, brændstoffer produceret på fornybare energikilder (alkoholer, planteolier, biogas mm.), brint (f.eks. fra elektrolyse vha. VE) og el. El kan enten benyttes ved

ledningsbunden trafik (f.eks. tog, trolleybusser) eller ved batteri-drift.

Emissioner ved andre drivmidler

Forureningen som følge af ændrede drivmidler afhænger af den måde drivmidlet er produceret på, samt hvordan en evt. forbrænding foregår. Emission af NO_x afhænger af forbrændingstemperaturen, og emission af CO , PAH og kulbrinter afhænger af forbrændingseffektiviteten. Som helhed vil emissionerne være mindre for ovennævnte mulige nye drivmidler end for de idag benyttede. Specielt brint kan anvendes i brændselsceller og her vil der ikke være andre emissioner end vand. Eldrevne transportmidler forurener ikke i lokalmiljøet, men derimod regionalt og globalt, afhængigt af hvordan elektriciteten produceres.

Samproduktion

Proces

På procesområdet er det svært at give et generelt svar på, hvad renere energiteknologi vil være, da området er stort og meget forskelligt. Mange steder, hvor der skal bruges højtemperaturvarme, kan der produceres el i sammenhæng med dette. Eller restvarmen kan benyttes til forvarmning af materialer og i sidste ende rumopvarmning. Lavtemperaturvarme kan fås fra kraftvarmeanlæg, hvorved der sikres en høj udnyttelsesgrad af primær-energien. Det er vurderet at procesenergiforbruget ved uændret produktionsvolumen kan reduceres til ca. halvdelen v.h.a. tekniske besparelsestiltag.

Det er meget vigtigt, når en proces vurderes ud fra renere teknologi perspektivet, at energiforbruget vurderes og reduceres mest muligt.

LFA for forbrugsteknologier

Livsforløbsanalyser

I kapitel 6 har vi vurderet forskellige teknologier igennem hele livsforløbet for at se, hvor energiforbrugene er og forurening af miljøet opstår. Sammenlagt kan det siges, at for de energiforbrugende teknologier ligger det største energiforbrug i driftsfasen, og der er ikke et væsentligt større energiforbrug forbundet med fremstilling og afvikling af energieffektive teknologier. For visse teknologier kan det endda forholde sig sådan, at energiforbruget til fremstilling formindskes i forhold til traditionelle systemer, f.eks. elgryder, hvor materialeforbruget til fremstilling af kogesektionen kan undgås.

Passiv solvarme

For passiv solvarme viser LFA, at der i den valgte konstruktion er et stort energiindhold. Dette skyldes et lidt uheldigt materialevalg, idet aluminium anvendt til rammerne er meget energitungt, hvis det er fremstillet af råmaterialet bauxit. For at passiv solvarme skal være attraktivt ud fra energiregnskabet for hele livsforløbet, må aluminium'en i højere grad være baseret på recirkuleret aluminium, som har et meget lavere energiindhold, eller materialevalget ændres til f.eks. træ eller stål. Hvis passiv solvarme fortrinsvis benyttes de steder, hvor der er store besparelspotentialer, er problemet heller ikke så stort.

7.2.2 Forsyningssiden (el- og varmforsyning)

Mange miljøskadelige stoffer

Det nuværende energiforsyningssystem giver anledning til udledning af mange miljøskadelige stoffer. Det skyldes at energiproduktionen i overvejende grad er baseret på afbrænding af fossile brændsler.

<i>Rensning</i>	De hidtidige strategier til reduktion af forureningen har ofte været koncentreret om rensning. Men rensning fjerner ikke forureningen, men flytter den kun, og der kan opstå problemer med deponering af de fraseparerede materialer. En del af de fraseparerede materialer kan genbruges i f. eks. cement- og gipsindustrien, men efterhånden som flere og flere kraftværker forsynes med denne type rensningsforanstaltninger (der er en stor udvikling på området) er det sandsynligt, at der vil opstå afsætningsproblemer for de fremstillede produkter. Det største problem ved rensningsstrategien er imidlertid, at det ikke er muligt at fjerne CO ₂ -emissionerne. Rensning forøger tværtimod emissionerne af CO ₂ , idet energiforbruget stiger med op i mod 10%. (Se evt. kap. 6). Der kan også være et meget stort vandforbrug i forbindelse med rensning (f. eks. svovlrensning).
<i>Rensning forøger CO₂-emissionen</i>	
<i>Bedre løsning</i>	Miljøproblemerne hidrørende fra energiproduktionen kan mere hensigtsmæssigt løses ved at indføre produktionsteknologier, der giver anledning til betydeligt færre emissioner. Ved vurdering af disse produktionsteknologier er det vigtigt at inddrage hele livsforløbet, som det i afsnit 6 er gjort for nogle udvalgte eksempler.
<i>Forbrænding undgås</i>	Generelt kan siges, at produktionsmetoder baseret på forbrænding bør undgås, da de altid vil resultere i udsendelse af diverse emissioner af stoffer, der som oftest er miljøskadelige. En undtagelse herfor er forbrænding af brint. Fornybare brændsler har den fordel frem for fossile brændsler at deres samlede emission af CO ₂ er nul. Den reneste energiproduktion kan opnås ved at anvende vedvarende energikilder.
<i>Store emissioner</i>	Elproduktion Hovedparten af den danske elproduktion foregår i dag på store centrale kulfyrede kraftværker. Da elproduktion på disse værker foregår med en forholdsvis lille effektivitet (virkningsgrader på 30-40%) er emissionerne pr. produceret kWh store. Under 1% af den danske elproduktion foregår på vedvarende energianlæg.
<i>Reduktion af emissioner</i>	Af kapitel 4 fremgår det at de udledte emissioner fra brændselsbaseret elproduktion i høj grad afhænger af produktionsmetoden og valget af brændsel. Specielt ved anvendelse af naturgas (eller biogas og halmgas, som er CO ₂ -neutrale) som brændsel i gasturbiner eller brændselsceller, er det muligt at reducere emissionerne ganske betydeligt. Ved anvendelse af brint i brændselsceller kan emissionerne fra selve driftsfasen reduceres til 0 (brintsystemer omtales i afsnit 5.3.3). En forudsætning for at brint kan betragtes som en ren energikilde er imidlertid at den er produceret på basis af vedvarende energianlæg. Da fremstilling, lagring og transport af brint altid vil give anledning til et vist forbrug og tab af energi er det ud fra et energi- og miljøsynspunkt mere hensigtsmæssigt at anvende den vedvarende energi direkte, i så stor en udstrækning, som det er muligt.
<i>VE-anlæg</i>	El-producerende VE-anlæg giver ikke anledning til emissioner i driftsfasen overhovedet, men energiforbrug til fremstilling og afvikling af teknologien kan give anledning til emissioner i et større eller mindre omfang. De mulige VE-teknologier til direkte elproduktion i Danmark er vindmøller, solceller og bølgekraftanlæg.
<i>LFA for vindmøller og solceller</i>	Livsforløbsanalyserne i kapitel 6 har vist at energiforbruget til fremstilling af vindmøller har en begrænset størrelse i forhold til deres elproduktion i levetiden (omkring 1%), mens det samme ikke er tilfældet for solceller. Her udgør energiforbruget til frem-

stillingen af solcellepanelerne knap 40% af den elproduktion, der under danske forhold kan forventes at blive produceret i levetiden. Dette kan tyde på at der er behov for at reducere energindholdet i solceller før de kan blive rentable til elproduktion i Danmark på linie med vindmøller. Der er ikke i denne udredning lavet livsforløbsanalyser for bølgekraftanlæg.

Varmeproduktion

Ligesom for elproduktion gælder det for den brændselsbaserede del af varmforsyningsområdet at emissionsforholdene afhænger af på hvilken måde varmen produceres og af hvilket brændsel der anvendes.

Individuelle og kollektive anlæg

Ca. halvdelen af varmeproduktionen i Danmark foregår i dag på individuelle anlæg (olie- og naturgasfyr). På disse anlæg er der ikke så gode muligheder for at regulere forbrændingsprocessen og rense røgen, som der er på de kollektive anlæg. De individuelle anlæg vil derfor som regel give anledning til større emissioner end kollektive anlæg, der opererer med samme brændsels-type. De kollektive anlæg har desuden den fordel, at der er større mulighed for at variere brændslet og dermed anvende både fossile og fornybare energikilder. Der er desuden større muligheder for at indpasse vedvarende energikilder.

Fornybare brændsler

Af kapitel 4 fremgår det at CO₂-emissionerne reduceres væsentligt (til 0) ved anvendelse af fornybare brændsler. Disse brændsler kan dog give anledning til at andre emissioner forøges (f. eks PAH'er ved halmafabrænding). Forskellige former for katalysatorer kan reducere nogle af disse, dog ikke PAH-emission.

Solvarme

Varmeproduktion kan i Danmark med fordel foregå ved hjælp af aktiv solvarme. Her kan både individuelle og kollektive anlæg komme på tale. Solvarmeanlæg giver til forskel fra varmeanlæg baseret på forbrænding ikke anledning til emissioner i driftsfasen. Livsforløbsanalysen for aktiv solvarme i kapitel 6 viser endvidere at energiforbruget til fremstilling af et solvarmeanlæg er lille i forhold til den varmeproduktion anlægget kan producere i levetiden (knap 10%).

Fordele ved samproduktion

Kraftvarmeproduktion

En stor del af primær-energiforbruget i Danmark anvendes til produktion af el og varme. El og varme kan produceres hver for sig på mere eller mindre "rene måder", som beskrevet i kapitel 4 og her ovenfor. Den mest hensigtsmæssige udnyttelse af primær-energien fås imidlertid ved samproduktion af el- og varme. Ved samproduktion el og varme kan der i forhold til samme elproduktion på et kulfyret kraftværk og samme varmeproduktion på en fjernvarmecentral opnås en brændselsbesparelse på 30%. Derved opnås store reduktioner af de udsendte emissioner (specielt SO₂, NO_x og CO₂). En speciel dårlig udnyttelse af brændslerne fås ved at producere varme uden samtidig at producere el.

Fald i elvirkningsgrad

Der er mulighed for samproduktion af el af varme for alle brændselsbaserede forsyningssteknologier. Det vil for alle teknologierne bortset fra brændselsceller resultere i et fald i elvirkningsgraden.

Effektive produktionsmetoder

De mest effektive metoder (baseret på forbrænding) til samproduktion af el og varme er combined cycle anlæg og brændselsceller. Hvis biogas anvendes som brændsel kan CO₂-emissionen reduceres til 0. Af disse to teknologier er brændselsceller den mest fordelagtige, da den har den største elvirkningsgrad.

Størst mulig reduktion af emissioner

Den største mulige reduktion af miljøbelastningerne kan opnås ved at producere så stor en del af varmen og elektriciteten som muligt på VE-anlæg og evt. supplere med så ren en brændsels-baseret produktion, der kan opnås (fortrinsvis baseret på fornybare energikilder og/eller brint).

Centrale og decentrale værker

Samproduktion af el og varme kan foregå på små decentrale og store centrale anlæg. De decentrale anlæg kan placeres i mindre byer, på industrivirksomheder o.l., der har et forholdsvist stort el- og varmemeforbrug. Decentrale anlæg resulterer i mindre transmissions- og pumpetab i fjernvarmerørene og der kan ofte med fordel anvendes lokale brændsler.

7.2.3 Sammenkobling mellem forsyning og forbrug.

El- og varmforsyning

Sammenkoblingen mellem forsyning og forbrug er specielt interessant indenfor el- og varmforsyningsområdet, da der her ofte er tale om sammenhængende forsyningssystemer, hvor det svingende forbrug såvel over døgnet (specielt elforbruget) som over året (specielt varmemeforbruget) stiller store krav til opbygningen af hele forsyningsstrukturen.

Væsentligste RT-initiativer

Af de forrige afsnit fremgår det at de væsentligste RT-initiativer indenfor varme- og elforbrugsområdet er koncentreret omkring besparelser. Indenfor forsyningsområdet er specielt udnyttelsen af vedvarende og fornybare energikilder af stor betydning for at opbygge et mere miljøvenligt energisystem.

Forudsætning for anvendelse af VE

En forudsætning for at en væsentlig andel af energiforsyningen kan baseres på disse energikilder er at bindingerne mellem forsyning og forbrug reduceres, dvs. at energien ikke nødvendigvis skal produceres med samme døgn- og årsvariationer som forbruget. Endvidere har forholdet mellem elforbruget og varmemeforbruget på langt sigt betydning for valg af teknologi.

Miljøpåvirkninger

Elforbrug - elforsyning

Miljøpåvirkningerne fra et givet elforbrug kan være meget begrænsede hvis elektriciteten produceres på vedvarende energianlæg eller meget betydelige hvis elektriciteten som i dag i overvejende grad produceres på basis af fossile brændsler. På tilsvarende måde afhænger effekten af elbesparelser af hvordan elektriciteten produceres i det aktuelle energisystem.

Døgnsvingninger

Med den nuværende opbygning af elforsyningssystemet er de store døgnsvingninger i elforbruget en hindring for udbygning med elproducerende VE-anlæg i stor skala, idet disse anlægstyper ikke kan følge svingningerne i forbruget.

Udligning af elbelastningen

For at forbedre mulighederne for udbygning med VE-anlæg er det derfor vigtigt at indføre teknologier til udligning af belastningskurven og effektive metoder til ellagring. Specielt indenfor det sidstnævnte område er der et stort behov for forskning og udvikling. En delvis udligning af forbruget vil ud fra en renere teknologi synsvinkel være at foretrække frem for en udstrakt anvendelse af ellagre, da der altid vil være en form for tab i forbindelse med lagring.

Ellagre

Elbesparelser vigtige

For at forøge mulighederne for at dække en væsentlig andel af det samlede elforbrug med vedvarende energikilder er det endvidere vigtigt at satse på elbesparelser.

<i>Miljøpåvirkninger</i>	Varmeforbrug - varmforsyning Med hensyn til miljøpåvirkningerne fra et givet varmeforbrug gælder de samme generelle bemærkninger, som anført under elforbrug - elforsyning.
<i>Årsvariation</i>	Varmeforbruget i Danmark er stort om vinteren og forholdsvis begrænset om sommeren, hvilket giver en dårlig udnyttelse af den eksisterende produktionskapacitet i en stor del af året. Dette forhold er endvidere en hindring for en mere udbredt anvendelse af solvarme, idet solvarmen netop har sin største ydelse i sommerhalvåret, hvor behovet er mindst.
<i>Sæsonvarmelagre</i>	For at forbedre mulighederne for udnyttelse af solvarme er der behov for udvikling af effektive og billige sæsonvarmelagre.
<i>Varmebesparelser og fjernvarme</i>	af kraftige varmebesparelser kan betyde, at etablering af fjernvarme (også solfjernvarme) i mindre byer ikke er ønskværdigt, hverken ud fra et energimæssigt eller økonomisk synspunkt, med mindre der udvikles effektive og billige transmissionssystemer for varmen.
<i>Dårlig brændselsudnyttelse</i>	Fjernvarme, baseret på forbrændingsteknologi, uden samtidig produktion af el resulterer i en dårlig udnyttelse af energiindholdet i brændslerne. Dette skyldes, at man ved fremstilling af fjernvarme ikke udnytter den høje energikvalitet, der er i brændslerne.
<i>Samproduktion besværliggøres</i>	Samproduktion af el og varme. Af afsnit 4 og 5 fremgår det, at der kan opnås forholdsvis store brændselsbesparelser ved samproduktion af el og varme. Samproduktion besværliggøres imidlertid af at el- og varmeforbruget varierer så forskelligt.
<i>Forøgede muligheder for samproduktion</i>	Hvis en væsentlig del af el- og varmeforbruget skal foregå ved samproduktion i både sommer- og vinterhalvåret er der behov for at udvikle et fleksibelt energiforsyningssystem, der giver mulighed for at variere forholdet mellem el- og varmeproduktionen inden for et ret bredt område uden at systemets virkningsgrad forringes væsentligt. Der er endvidere behov for at udvikle diverse lagringsmetoder. Der findes i dag velegnede metoder til korttidslagring af varme som kan medvirke til at forbedre mulighederne for samproduktion på døgnbasis, men for at opnå en større grad af samproduktion på årsplan er der behov for udvikling af sæsonvarmelagre.
<i>LOCUS-anlæg</i>	En anlægstype der giver mulighed for at variere forholdet mellem el og varmeproduktionen er LOCUS-anlægget. Dette anlæg har desuden den fordel, at det giver mulighed for at indpasse et stort bidrag fra vindkraft og andre fluktuerende energikilder. Ved vurderinger af mulighederne for udbygning med kraftvarme er det vigtigt at tage hensyn til to forhold, nemlig mulighederne for at indføre besparelser (el og varme) og fortrængning af de vedvarende energikilder.
<i>Varmebesparelser</i>	I dag produceres ca. 25% af varmeforbruget på kraftvarmeværker. Planlagt udbygning med kraftvarme frem til år 1995 giver en omtrentlig kraftvarmedækning på 40% af varmeforbruget. Hvis der indføres elbesparelser, svarende til hvad der er muligt med den eksisterende teknologi, vil den varmebaserede elproduktion med denne dækningsgrad (40%), overstige elforbruget om vinteren om natten. Det er derfor vigtigt at sammenholde kraftvarme-

<i>KV-grundlaget forringes</i>	udbygningen med mulighederne for elbesparelser. Ved indførsel af både el- og varmebesparelser kan der være mulighed for at opnå et passende forhold mellem kraftvarmebaseret elproduktion og elforbruget om vinteren. Med indførelser af varmebesparelser må man imidlertid være opmærksom på, at hele grundlaget for kraftvarmeudbygningen (både energimæssigt og økonomisk) kan forsvinde. Dette kan delvis imødegås ved udvikling af billige og effektive transmissionssystemer.
<i>Fortrængning af solvarme</i>	Ved udbygning med kraftvarme er det vigtigt at tage hensyn til at kraftvarmen kan fortrænge andre og renere teknologier fra markedet. Her tænkes specielt på solvarme, som i sommerhalvåret må konkurrere med overskudsvarme fra kraftværket. Det rejser spørgsmålet om en langsigtet og sammenhængende planlægning på energiområdet.
<i>Fleksibilitet</i>	Fleksible energisystemer. Et altafgørende princip for opbygning af et miljøvenligt energisystem på længere sigt er fleksibilitet. En stor fleksibilitet kan opnås ved at satse på mindre decentrale energiforsyningsanlæg og en bred vifte af fornybare og vedvarende energikilder samt ved at indbygge lagringsmuligheder for el og varme i systemet.
<i>LOCUS-anlæg</i>	De tidligere omtalte LOCUS-systemer giver mulighed for at indpasse væsentlige bidrag fra solvarme og vindkraft i energiforsyningen, samtidig med at der er mulighed for at anvende såvel fornybare som fossile brændselstyper. Det er endvidere muligt at dække et stort variationsområde for forholdet mellem el- og varmeproduktion. Et LOCUS-system må altså anses for at være et yderst fleksibelt energiforsyningsanlæg. Et elsystem med mange LOCUS-anlæg beregnes at kunne indpasse mere end 30% el fra vindkraft. Det vil hermed være muligt at reducere emissionerne med en tilsvarende størrelse.
<i>Brint som energibærer</i>	En anden mulighed for at opnå et fleksibelt energisystem er at anvende brint som energibærer i et energisystem, der i stor udstrækning er baseret på anvendelse af vedvarende energikilder (se evt. afsnit 5.3.3).
<i>Erstatte fossile brændsler</i>	Brint er et yderst miljøvenligt brændsel, idet det eneste forbrændingsprodukt er vand (der kan dog ved høje temperaturer dannes NO _x). Brint kan i teorien erstatte de fossile brændsler i alle de anvendelser vi kender i dag, også indenfor transportsektoren. Med anvendelse af brint er der altså et meget stort potentiale for at reducere emissionerne. Brint kan produceres fra vand med overskudsproduktion fra elproducerende VE-anlæg. Den producerede brint kan oplagres og anvendes når elbehovet er stort. På denne måde fås en metode til lagring af elektricitet.
<i>Brændselsceller</i>	Elproduktion fra brint kan ske med stor effektivitet i brændselsceller. Brændselscellerne kan foruden brint anvende andre brintrige gasser (biogas, naturgas, mm), hvilket er med til at gøre systemet mere fleksibelt. Brintsystemer er forsat på et begyndende udviklingsstade, og der er et stort behov for forskning og udvikling inden for dette område.

7.3 Anbefalinger

Manglende viden om miljøeffekter

Vi må erkende at man på energiområdet, som på så mange andre områder i dag, ikke besidder den store viden om de totale miljøeffekter ved brug af forskellige energiteknologier. Nye teknologier vinder indpas og der går ofte lang tid inden vi kender konsekvenserne af at tage den nye teknologi i brug. Et godt eksempel er CFC-gasserne, som indtil for nogle år siden ikke betragtedes som noget problem. I dag er det almindeligt kendt at de truer både arbejdsmiljø, ozonlaget og medvirker til drivhuseffekten.

Det har varet lang tid før man overhovedet er begyndt at tage forureningen fra energiproduktionen alvorligt. Og i dag fokuserer vi alligevel stort set kun på de direkte luftforureningsaspekter forårsaget af afbrænding af fossile brændsler, nemlig emission af CO₂, SO₂, NO_x og partikler.

Rapporten påviser

I denne rapport har vi vist, at der er en række delområder indenfor energiområdet, hvor der er upåagtede miljøeffekter og kilder til forurening. Der er ligeledes anvist en del steder, hvor det er umiddelbart indlysende at indføre renere teknologier. Andre steder er det sandsynliggjort, at der kan være uønskede miljøeffekter og disse problemer bør undersøges nærmere.

7.3.1 Energibesparelser

Besparelser mest effektive forureningsbekæmpelse

Som vist i kapitel 3 er der store tekniske besparelser- eller effektiviseringsmuligheder i det danske energiforbrug. Tekniske energibesparelser er samtidig den mest effektive form for forureningsbekæmpelse, idet samtlige uønskede miljøeffekter fra energiproduktionen reduceres nogenlunde proportionalt med energibesparelsen i forbruget. Der kan dog, ved helhedsvurderinger af energibesparelseteknologier, vise sig at være uønskede miljøeffekter ved specielt fremstilling og afvikling af besparelseteknologier. I de udvalgte eksempler på livsforløbsanalyser for energibesparende teknologier er der dog ikke noget, der tyder på at disse miljøeffekter kan vælte den generelle konklusion, at energibesparelser er den mest effektive forureningsbekæmpelse.

Anbefalinger

Det skal derfor anbefales at energibesparelser støttes, både ved udvikling af renere energibesparelseteknologier og udbredelse af kendskabet og brugen af disse. Der er påvist mange besparelsermuligheder i el- og opvarmningsforbrug, mens proces, anden varme- og transportenergiforbrug har behov for større opmærksomhed og dokumentation af besparelsermuligheder. Samtidig bør der til stadighed foretages helhedsvurderinger af besparelseteknologiernes miljøeffekter, for at sikre mod ubehagelige overraskelser pga. oversete miljøeffekter fra fremstilling, drift og afvikling af energibesparelseteknologierne. Man kan evt. indføre en slags miljøgodkendelse af energiforbrugende teknologier, før de kan markedsføres. Det bør under alle omstændigheder sikres at energibesparelser får mindst ligeså stor opmærksomhed som energiforsyningsteknologierne har haft indtil nu. Der bør skabes den nødvendige sammenhæng mellem energibesparelser og egentlig forureningsbekæmpelse. Dvs. sørges for, at udformningen af det danske energisystem på kort og langt sigt baseres på helhedsprægede miljøvurderinger af både nye og gamle energiteknologier.

7.3.2 Distributionsteknologier

CFC og PVC

Vi har i rapporten ikke beskæftiget os så meget med denne del af energisystemet, men det er klart at her vil effektbesparelser, som ofte følges ad med energibesparelser, have miljømæssig betydning. Materialeforbruget og dermed energiforbruget til fremstilling samt forbruget af stoffer, som kan have miljøskadelig effekt når distributionsteknologierne afvikles, kan på denne måde nedbringes. De i rapporten mest omtalte miljøskadelige stoffer i denne forbindelse, er hhv. CFC der anvendes til opskumning af isolering til fjernvarmerør og PVC der anvendes til elektrisk isolering af elledninger. Anvendelse af CFC og PVC er dog problemer af den generelle type, omtalt i starten af dette kapitel, hvis løsning er af generel interesse, idet disse stoffer har stor udbredelse på alle områder i samfundet.

Reduktion af tab

Det er dog klart, at en indsats for at reducere distributionstab fra såvel gas-, el-, som fjernvarmeledninger, er i samfundets interesse, sålænge energitabene er i den nuværende størrelsesorden (10-30 %).

Anbefalinger

Den energitekniske afhjælpning af disse problemer vil være de omtalte effektbesparelser, men der bør selvfølgelig (hvilket jo også er tilfældet) arbejdes med substitutionsmaterialer, der ikke har de uønskede virkninger på miljøet. En strategi til afhjælpning af disse problemer er ligesom for energibesparelse langsigtede strategier, der for at have succes, må følges nøje og resultaterne kommer kun gradvist. Det er derfor vigtigt, at der etableres nogle stabile ordninger, der sikrer at strategien også kan holdes på længere sigt.

7.3.3 Energiproduktionsanlæg

Kollektive forsyningsanlæg

Der er i rapporten argumenteret for at kollektive energiforsyningssystemer giver et fleksibelt system med mulighed for forholdsvis nemt at skifte energikilder. Samtidig er det gjort klart, at den mest effektive udnyttelse af brændsler, og dermed som regel den mest miljørigtige, sker i kraftvarmeanlæg. Anvendes fornybare brændsler kommer man CO₂-emissionen til livs, men der kan opstå andre miljøproblemer afhængig af brændslet. Vi anbefaler derfor at decentrale kraftvarmeteknologier støttes og specielt udvikling af decentrale kraftvarmeverker, der vha. katalysatorer eller på anden vis kan anvende fornybare brændsler uden gene for hverken arbejdsmiljø eller det ydre miljø. Også udviklingen af kraftvarmeteknologier med et højt forhold mellem el- og varmeproduktion som f.eks. brændselceller, bør støttes.

Vedvarende energianlæg

Vedvarende energianlæg kan tilbyde en væsentlig renere energiforsyning end såvel de traditionelle fossile baserede energiteknologier, og de teknologier, der udnytter fornybare brændsler. Livsforløbsanalyser for nogle af de mest almindelige vedvarende energianlæg har vist at energiforbruget til fremstilling og afvikling af teknologierne udgør 10-30 % af den energi de producerer indtil de er nedslidt. Jo mere privatøkonomisk rentable de er, jo mindre er denne energifaktor. Miljøeffekter af vedvarende energianlæg bør undersøges nøje, men kan næppe gøre vedvarende energiteknologier dårligere end fossile teknologier. Det er imidlertid afgørende for en større udbredelse af vedvarende energianlæg, at det øvrige energisystem er udformet så en fluktuerende energiproduktion kan udnyttes. Som nævnt i kap. 5 betyder det

Anbefalinger

bl.a. at der må udvikles energilagre, specielt korttids ellagre og sæsonvarmelagre. Det anbefales, at man støtter udviklingen af såvel vedvarende energiteknologier, som energisystemer, der understøtter vedvarende energianlæg. Også her er det vigtigt at der sideløbende med udviklingen foretages helhedsvurderinger af vedvarende energiteknologiernes miljøforhold.

Arbejdsmiljø

Arbejdsmiljøforhold kan "vælde" visse vedvarende energiteknologier, bl.a. fremstillingen af amorfe solceller og glasfibervinger er kritisk set ud fra et arbejdsmiljømæssigt synspunkt. Det skal derfor anbefales, at der i forbindelse med øget udbredelse af energiteknologier sikres acceptable arbejdsforhold, idet det ikke kan accepteres at forbedre det ydre miljø på bekostning af arbejdsmiljøet. Det betyder ikke, at teknologien skal skrinlægges, hvis den iøvrigt er grundlæggende miljøvenlig (f.eks. ikke-forbrændings, ikke-fossile teknologier). Men det bør medføre forbedrede produktionsmetoder. Arbejdsmiljøforhold kan som regel forbedres, hvis de ofres opmærksomhed.

Brintsystem

Brint som energibærer kan være med til at styrke udbredelsen af vedvarende energi og et iøvrigt fleksibelt energisystem. Transportsektoren kan også drage en betydelig miljømæssig fordel ved anvendelse af brint i stedet for fossile brændsler. Udvikling af brændselceller er specielt vigtig i sammenhæng med brintsystemer, idet der med disse kan etableres en rimelig effektiv ellagring. Anvendelsen af sådanne brintbaserede energisystemer er dog ikke undersøgt særligt dybt med henblik på brug i Danmark. Vi anbefaler derfor at der igangsættes projekter, der kan udvide kendskabet til de miljømæssige konsekvenser af et udbygget brintsystem.

Anbefalinger

7.3.4 Energikilder

Naturgas fremfor kul og olie

Anvendelse af naturgas istedet for olie og kul er en hurtig løsning på nogle af miljøproblemerne (dem der forårsages af bl.a. CO₂ og SO₂). Dette er en løsning, som kan bruges, mens bedre og renere teknologier udvikles. Hvis naturgas blev anvendt de steder, hvor der i dag anvendes olie eller kul (inkl. transportsektoren), ville CO₂-emissionen reduceres betydeligt (ca. 30 %) og SO₂-emissionen næsten elimineres. Fornybare brændsler kræver løsning af problemer med forbrændingsprodukterne PAH, NO_x m.fl. evt ved udvikling af bedre forbrændingsteknologier i kombination med anvendelse af forgasningsteknologier, katalysatorer osv.

Fornybare brændsler

Anbefalinger

Det skal anbefales, at der på kort sigt anvendes renere brændsler (f.eks. naturgas), der kan indgå i det nuværende system, og at der på langt sigt arbejdes på at inddrage energiteknologier der ikke er baseret på forbrændingsteknologier.

7.3.5 Generelt

Hele livsforløbet må inddrages

En miljømæssig tilfredstillende behandling af energiområdets forureningsproblemer går langt bredere, end til at analysere energiforsyningssektoren isoleret. Også industrien, der fremstiller energiteknologierne, og den private eller offentlige organisation, der varetager, affaldsbehandling, skrotning af energiteknologier osv, bør analyseres.

Ydermere skal energiteknologierne ikke kun vurderes i forhold til

påvirkningen af det ydre miljø, men også m.h.t. arbejdsmiljø ved fremstilling, drift og afvikling af energiteknologierne. Vi har i livsforløbsanalyserne set at visse teknologier kan være problematiske set i lyset af et risikofyldt arbejdsmiljø.

Energiforbrugets størrelse

Energiforbrugets absolutte størrelse bør også komme med i betragtning, i forbindelse med besparelser i slutforbrug og effektivisering af energiproduktionen. Der er en afgørende sammenhæng mellem muligheden for at etablere en miljøvenlig energiforsyning, og den absolutte størrelse af forbruget, idet det f.eks. ikke er muligt at dække en større del af energiforbruget med vedvarende og fornybare energikilder, hvis ikke energiforbruget er væsentligt reduceret i forhold til i dag.

Bred opfattelse af energiområdet

Endelig er det vigtigt at forstå, at problemet med forurening fra energisystemet bør opfattes meget bredere end det hidtil ofte er blevet opfattet. Energiområdet som vi har kaldt det, omfatter nemlig alle de traditionelle økonomiske sektorer, både med hensyn til energiproduktion og forbrug, idet vi ved en helhedsvurdering af energiområdet er nødt til at gå ind alle steder i samfundet, hvor menneskeskabte energistrømme findes.

Anbefaling

Det anbefales derfor at den danske energi- og miljøadministration generelt begynder at anvende en mere helhedsorienteret forureningsbekæmpelsesstrategi på energiområdet, end hidtil. En strategi der starter med at gå til kilden for problemet, nemlig energiforbruget, og analyserer energistrømmene i et bredt perspektiv, dvs. m.h.t. energibehov, påvirkning af det ydre miljø og arbejdsmiljø set i et langt tidsperspektiv, ved brug af bl.a. livsforløbsanalyser.

Referenceliste

Referencer til kapitel 1 :

- 1.1. "Forslag til lov om miljøbeskyttelse",
Miljøministeriet, januar 1990
- 1.2. "Lov om ændring af lov om kemiske stoffer og produkter",
Miljøministeriet, 1989
- 1.3. "Redegørelse om genanvendelse og renere teknologier",
Miljøstyrelsen, København 1983
- 1.4. "Emissionsberegninger til brug for Statusnotat 88",
Jørgen Fenhan, Forskningscenter RISØ, 1988
- 1.5. "Sammenhængende teknologivurdering på energi- og
miljøområdet", Lennart Emborg og Bjarne Juul-Kristensen,
Fysisk Laboratorium III, DtH, Udgivet af Teknologinævnet,
TeknologiNævnets rapporter, 1989/4
- 1.6. "Om hundrede år er intet glemt, industri og
naturgrundlag"
Christian Ege Jørgensen, Forlaget Niche, 1989

Referencer til kapitel 3 :

- 3.1. "Danmarks energistrømme 1988",
Energistyrelsen. 1989.
- 3.2. "Low Electricity Europe - Sustainable options",
(Preliminary report)
Jørgen Nørgård og Sten Jensen
Fysisk Laboratorium III, DtH, 1989
- 3.3. "Tekniske Elbesparelser",
Mogens Johansson og Thomas Pedersen,
AKF. 1988.
- 3.4. "Vurdering af elforbrugets fordeling og besparelspoten-
tialer i den offentlige sektor",
Preben B. Pedersen et al.
Fysisk Laboratorium III, DtH, 1988.
- 3.5. "Langsigtede muligheder for tekniske elbesparelser",
Jørgen Nørgård et al.
Fysisk Laboratorium III, DtH, 1983.
- 3.6. "Energi og Ressourcer - For en bæredygtig fremtid",
Niels I. Meyer og Jørgen Nørgård.
Polyteknisk Forlag. 1989.
- 3.7. "Forprojekt vedrørende elbesparelser ved køleanlæg",
Preben Buhl Pedersen.
Fysisk Laboratorium, DtH, 1987.

- 3.8. "Energiforbrug i bygninger",
Bent Petersen et al.
3. udkast. Energistyrelsen. 1989.
- 3.10. "Forsyningskataloget",
Styregruppen for forsyningskataloget. 1988.
- 3.11. "Dansk transport 2010"
Cowiconsult, Rådgivende ingeniører A/S. 1988.
- 3.12. "Elnyt" nr 3. 1989,
SEAS. 1989.
- 3.13. "Samfærdsel og turisme 1988:6",
Statistiske efterretninger.
Danmarks statistik. 1988.
- 3.14. "Transportsektorens energiforbrug 1986",
Trafik- og kommunikationsministeriet. 1988.
- 3.15. "Hydrogen energy progress VI. vol.3.",
T.N. Verziroglu, et al., International Association for
Hydrogen Energy. 1986.
- 3.16. "Vätgas en framtida energibärare",
Carl- Johan Østerberg, Energiforskningsnämnden.
Stockholm. 1987.
- 3.17. "Naturgas - et alternativt brændstof til biler",
Dansk Naturgas A/S, Energiteknisk sektion.
- 3.18. "Statistisk årbog 1988",
Danmarks statistik. 1989.
- 3.19. "Energi og planlægning", 3: 1989.
Foreningen Sun Media, 1989.
- 3.20. "Tekniske elbesparelser i industrien", delrapport 1, 2 og 3,
M.W. Hansen, M. Johansson og T. Pedersen,
dk-TEKNIK, Søborg, 1987.
- 3.21. "Energy for a sustainable world",
J. Goldemberg, T.B. Johansson, A.K.N. Reddy og
R.H. Williams, Wiley Eastern Ltd., New Delhi, 1988.
- 3.22. "Dry Air Generator for On-farm Barley Drying", Paper
no.81-3023, C.K. Bak, Summer Meeting, American
Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan,
USA.
- 3.23. "Modtrykstørring af roeaffald", **Procesenergi** nr. 1,
maj 1988. A. Slot-Jensen, De Danske Sukkerfabrikker,

Referencer til kapitel 4 :

- 4.1. "Elforsyningens Tiårsoversigt 1976-85",
Danske Elværkers Forening, februar 1987.
- 4.2. Oplysninger fra Kaj Stærkind, Energistyrelsen, 1989
- 4.3. HNG, 1989. Korrespondance med Lars Bo Pedersen,
Hovedstadsregionens Naturgas I-S, af 10. november,
1989.
- 4.4. "CFC-forbrugsmønster i Danmark",
Hansen, E. & N.J. Busch,
Miljøprojekt nr. 92, Miljøstyrelsen 1988.
- 4.5. "Energi og ressourcer - for en bæredygtig fremtid",
Niels I. Meyer og Jørgen S. Nørgård,
Polyteknisk forlag, 1989
- 4.6. "Fuel Cells", Leo J.M.J. Blomen, artikel i bogen
'Electricity - Efficient End-Use and New Generation
Technologies, and Their Planning Implications'.
Lund University Press, 1989.
- 4.7. "Vurdering af teknologier til el- og varmeproduktion,
bilag til regeringens Brundtlandhandlingsplan på
energiområdet, ELKRAFT/ELSAM, 1989
- 4.8. "Udredning om vedvarende energi i Danmark",
Preben Buhl Pedersen, Jan Viegand, Niels Meyer.
Foreløbig udgave, Fysisk Laboratorium III, DTH,
september 1989.
- 4.9. "El- og varmeproduktionsteknologier",
Energigruppen, systemanalyseafdelingen, Risø, 1989
- 4.10. "Forsyningskataloget",
Styregruppen for Forsyningskataloget, 1988
- 4.11. "Sammenhængende teknologivurdering på energi- og
miljøområdet",
Lennart Emborg og Bjarne Juul-Kristensen,
Fysisk Laboratorium III,
TeknologiNævnets rapporter 1989/4.
- 4.12. DONG, 1989. Personlig kommunikation med Ernst
Hagge, Dansk Naturgas, nov. 1989.
- 4.13. "Drivhuseffekten, global luftforurening og
klimaændringer"
Jes Fenger og Peter Laut. Fiskers forlag 1989.
- 4.14. "Globale energi- og miljøproblemer",
Civ.ing. Henrik Lund, Institut for Samfundsudvikling og
Planlægning, Aalborg Universitets Center 1988.
- 4.15. "Coal Gasification Technologies for Combined Cycle
Power Generation", Verner Peters, artikel i bogen
'Electricity - Efficient End-Use and New Generation
Technologies, and Their Planning Implications',
Lund University Press, 1989.

Referencer til kapitel 5 :

- 5.1. "Danmarks energistrømme 1988",
Energistyrelsen, juni 1989
- 5.2. "Dansk elforsynings Statistik 1988",
Danske elværkers forening, 1988
- 5.3. "Forsyningskatalog 1988",
Styregruppen for Forsyningskataloget, Energistyrelsen, 1988
- 5.4. "Noter til energisystemer (bind 3)",
Quale, Laboratoriet for energiteknik, DTH, 1985
- 5.5. "Energi og ressourcer - for en bæredygtig udvikling",
Niels I Meyer og Jørgen S. Nørgård,
Polyteknisk forlag, 1989.
- 5.6. "Miljøets energi",
Chaos for Danmarks Naturfredningsforening, 1989
- 5.7. "Muligheder for decentral kraft/varme i ELSAM-området"
Tommy Rothman m.fl., Aalborg Universitetscenter,
Aalborg Universitetsforlag, 1989
- 5.8. "Notat om muligheder for udvidet samproduktion af el og
varme", Jørgen Boldt, Energistyrelsen, 1987
- 5.9. "Udredning om vedvarende energi i Danmark".
Preben Buhl Pedersen, Jan Viegand, Niels I. Meyer.
Fysisk Laboratorium III, DTH, 1989. Foreløbig udgave.
- 5.10. "Analyse af eloverløbs- og elkvalitetsproblemer"
Henrik Lund og Frank Rosager, Projekt for VE på Born-
holm. Udgivet af Bornholms Amtskommune, Rønne, 1986
- 5.11. "El- og varmeproduktionsteknologier",
Energigruppen, systemanalyseafdelingen, Risø, 1989
- 5.12. "Hydrogen Technology for Energy Needs of Human Settle-
ments". T. Nejat Veziroglu. Int. J. Hydrogen Energy 12,
page 99 - 129, 1987
- 5.13. "HEW-Pressedienst", 34/87, Hamburg 1987.
- 5.14. VDI Berichte 602: "Wasserstoff energietechnik",
VDI Verlag, Dusseldorf, 1987
- 5.15. "Energiforsyning - Energiforbrug", Årsrapport 1986-1987,
Energistyrelsen nov. 1987.

Referencer til kapitel 6 :

Referencer til afsnit 6.1 :

- 6.1.1. "Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af byggematerialer"
Sigurd Andersen, Inst. for Husbygning, DtH 1979
- 6.1.3. Personlig samtale med Helge Hansen,
Teglværkslaboratoriet, Århus, januar 1990
- 6.1.4. Personlig samtale med Bell,
Det Danske Stålvalseværk, januar 1990
- 6.1.5. Personlig samtale med Olaf Smith-Hansen,
Rockwool A/S, DK, januar 1990
- 6.1.6. "Energy and Well-being",
A.B. Makhijani, A.J. Lichtenberg, *Environment* vol.14,
no.5, jun. 1972
- 6.1.7. Personlig samtale med Søren Christensen, leder af udvik-
lingsafdelingen hos F.L.Smidt, januar 1990
- 6.1.8. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer",
Incropera & de Witt, John Wiley & Sons,
1985. ISBN 0-471-82561-1
- 6.1.9. "Forbrug af CFC-gasser i Danmark og potentielle
muligheder for at reducere emissionen",
Fysisk Laboratorium III, DTH, 1987
- 6.1.10. "Glent ventilation",
O. Stampe, Glent & Co., 1982

Referencer til afsnit 6.2 :

- 6.2.1. "Forbrug og forurening med kviksølv i Danmark",
COWIConsult, 1985
- 6.2.2. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 197 af 6. april 1988
- 6.2.3. "PHILIPS lysstofrør og lamper"
1987
- 6.2.4. "EFFO-forsøg med lysstoflamper"
TR 269, DEFU, 1988
- 6.2.5. "Entladungslampen und Umwelt"
Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie
e.V., 3. Auflage, 1986
- 6.2.6. Personlige samtale med Max Pedersen, Philips,
august 1989
- 6.2.7. Personlige samtale med Niels Haugård, Osram,
august 1989
- 6.2.8. Personlige samtale med Poul Erik Pedersen,
Lysteknisk Laboratorium, august 1989

Referencer til afsnit 6.3 :

- 6.3.1. "Udvikling og produktion af lavenergikøleskabet LER200",
P.H.Pedersen og H. Lawætz,
Fys.Lab.III, DtH. Lyngby 1989.
- 6.3.2. "Development of Energyefficient Electrical Household Appliances". Part one: Refrigerators.
T. Guldbrandsen, Jørgen Nørgård, m.fl.,
EEC 1986, EUR 10449 EN.
- 6.3.3. Styklister fra Bdr. Gram samt telefonsamtaler med
I. Iversen Bdr. Gram A/S Vojens, januar 1990.
- 6.3.4. "CFC-forbrugsmønster i Danmark",
E. Hansen og N.J. Busch,
Miljøprojekt nr. 92, Miljøstyrelsen 1988.
- 6.3.5. "Arbejdsmiljø fra A til Ø". Fremad 1982.
S.O. Hansson og Eva Hellsten,
ISBN 87-557-1043-3.
- 6.3.6. Salgsmateriale for K200 og LER200,
Brdr. Gram A/S Vojens.
- 6.3.7. "Teknologikataloget", Fysisk Laboratorium III, DtH,
Lennart Emborg og Bjarne Juul-Kristensen, Lyngby 1990.
- 6.3.8. Samtale med Per Henrik Pedersen,
Miljøstyrelsen, 24/1-90.
- 6.3.9. "Drivhuseffekten. Global luftforurening og klimaændringer",
Jes Fenger & Peter Laut,
Fiskers Forlag 1989. ISBN 87-89077-15.
- 6.3.10. "Første skridt mod stop for freon,
Steen Valgreen-Voigt, Politiken 23/1-90.

Referencer til afsnit 6.4 :

- 6.4.1. Oplysninger fra A/S Ernst Voss Fabrik, Fredericia,
januar 1990
- 6.4.2. "Low Electricity Appliances - Options for the Future"
J.S.Nørgård. Fra bogen 'Electricity',
Lund University Press, 1989
- 6.4.3. "Elbesparelser ved husholdningsapparater, forprojekt"
A.Gydesen, Fysisk Lab III, DtH. Juli 1989

Referencer til afsnit 6.5 :

- 6.5.1. Personlig samtale med Keld Håkonson,
Dansk Lukningsentreprise A/S, november 1989.
- 6.5.2. "Billigere glasinddækkede altaner til etageejendomme".
Mikael Grimmig et al., Teknologisk Institut, 1988.
- 6.5.3. "Transportsektorens energiforbrug 1986".
Trafik- og kommunikationsministeriet, 1988.

Referencer til afsnit 6.6 :

- 6.6.1. "Forsyningskataloget 1988"
Styregruppen for forsyningskataloget.
- 6.6.3. Personlig samtale med Erik Strunge, Miljøchef,
Rockwool A/S, DK
- 6.6.4. "2.-generations Lavenergihus i Hjortekær",
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Pjece.
- 6.6.5. "Bygningsreglement for småhuse 85" (BR-S 85),
Byggestyrelsen

Referencer til afsnit 6.7 :

- 6.7.1. Personlig samtale med Ejler Kristensen,
BONUS ENERGY A/S, (aug. 1989)

Referencer til afsnit 6.8 :

- 6.8.1. "Solcellen", Yakov Safir, Naturens verden 1986/130,
- 6.8.2. "Hidden Energy in Solar Cells and Photovoltaic Power
Stations",
Gerd Hagedorn, Forschungsstelle für Energiewirtschaft,
München 1989.
- 6.8.3. "Manufacture of Amorphous Silicon and GaAs Thin Film
Solar Cells, An Identification of Potential Health and
Safety Hazards",
Solar Cells 1984,13.
- 6.8.4. "Arbetsmiljö från a til ø",
Sven Ove Hansson m.fl.
Bogforlaget Prisma, Stockholm 1982.
- 6.8.5. "Billige processer til fremstilling af solcellepaneler med
høj virkningsgrad",
Yakov Safir m.fl., Lab for halvlederteknik, DtH, 1986
- 6.8.6. "Electricity from Photovoltaic Systems",
Bundesverband Solarenergie, German Solar Energy
Industries Association, Essen, 1987
- 6.8.7. "Development in Silicon Sheet. Technologies",
20. IEEE Photovoltaic Specialist Conference - 1988.

- 6.8.8. "Electricity, Efficient End-Use and New Generations Technologies and their planning Implications".
Thomas B. Johansen m.fl. Lund University Press, 1989.

Referencer til afsnit 6.9 :

- 6.9.1. "Kølets hälso- og miljøeffekter",
Vattenfall, 1983
- 6.9.2. "El & energi/8", Danske elværkers forening, 1989
- 6.9.3. "Danmarks energistrømme 1988"
Energistyrelsen, 1989
- 6.9.4. Personlig samtale med Henrik Maimann, FLS-miljø,
december 1989
- 6.9.5. Oplysninger fra ELKRAFT, januar 1990

Referencer til afsnit 6.10 :

- 6.10.1. "Forsyningskataloget".
Styregruppen for forsyningskataloget 1988.
- 6.10.2. "Cadmium emissioner fra forbrænding".
Peter Skjerk Christensen, Systemanalyseafdelingen,
Risø, 1989-11-02.
- 6.10.3. "Transport 2010". Cowiconsult 1989.

Referencer til afsnit 6.11 :

- 6.11.1. Solpakkeprogrammet, VE-data, Energisektorens Program-
center og Database, Aalborg 1989
- 6.11.2. "Energiforbrug til fremstilling af solvarmeanlæg".
Henrik Lawaetz og Simon Furbo. Meddelelse nr. 87,
revideret. Laboratoriet for Varmeisolering, 1981.
- 6.11.3. "Forsyningskataloget 1988", Styregruppen for forsynings-
kataloget, Energistyrelsen, 1989.
- 6.11.10 "Personlig samtale med Svend Svendsen,
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, dec. 1989.
- 6.11.11 "Drivhuseffekten".
Jes Fenger og Peter Laut. Fiskers Forlag, 1989.
- 6.11.12 "Emissionsfaktorer ved energiproduktion".
Jørgen Fenhann, Risø, 1988.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, nr. 138

Udgivelsesår: 1990

Titel:

Renere teknologi på energiområdet

Undertitel:

Forfatter(e):

Gydesen, Anette; Maimann, Dorte; Pedersen, Preben Buhl;
Hansen, Morten K.; Bruhn, Benny; Bidstrup, Claus

Udførende institution(er):

Danmarks Tekniske Højskole. Fysisk Laboratorium 3

Resumé:

Projektet har udviklet metoder til at foretage livsforløbsanalyser til vurdering af, hvilke tiltag der kan gøre den enkelte teknologi renere. For at få en helhedsbetragtning må den enkelte energiteknologi vurderes i den sammenhæng, hvori den indgår. Til dette er energikæder velegnede. Ved kombination af livsforløbsanalyser og energikædebetraktninger udvikler projektet – på trods af emnets omfang – et værdifuldt analyseredskab for renere teknologi på energiområdet. Endelig anbefales konkrete indsatsområder.

Emneord:

energi; forbrug; energiforsyning; husholdninger; renere teknologier; teknologi; udvikling; kraftvarmeværker; elektricitet; bioenergi; regulering; styringsmidler; materialestømsanalyser; boliger; belysning; transport; varmforsyning; olie; kul; naturgas

ISBN: 87-503-8491-0

ISSN: 0105-3094

Pris (inkl. 22% moms): 110,- kr.

Format: A4

Sideantal: 200

Md./år for redaktionens afslutning: marts 1990

Oplag: 1400

Andre oplysninger:

Tryk: Scantryk, København

Trykt på miljøpapir

Renere teknologi på energiområdet

Projektet har udviklet metoder til at foretage livsforløbsanalyser til vurdering af, hvilke tiltag der kan gøre den enkelte teknologi renere. For at få en helhedsbetragtning må den enkelte energiteknologi vurderes i den sammenhæng, hvori den indgår. Til dette er energikæder velegnede. Ved kombination af livsforløbsanalyser og energikædebetraktninger udvikler projektet – på trods af emnets omfang – et værdifuldt analyseredskab for renere teknologi på energiområdet. Endelig anbefales konkrete indsatsområder.

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 110,- inkl. 22% moms

ISSN nr. 0105-3094
ISBN nr. 87-503-8491-0