



Nyttiggørelse af returpapir

En samfundsøkonomisk
analyse

DECEMBER 2002



Journal nr.: 2002-1608-002

ISBN.: 87-7992-007-1

Udarbejdet af : Mads Lyngby Petersen (projektansvarlig) & Henrik Thormod Andersen

Rapporten udgives kun elektronisk.

©2002, Institut for Miljøvurdering

Henvendelse angående rapporten kan ske til:

Institut for Miljøvurdering

Linnésgade 18

1361 København K

Tlf.: 7226 5800

Fax: 7226 5839

e-mail: imv@imv.dk

www.imv.dk

Sammendrag	4
Indledning	8
Returpapir og afbrænding	10
Scenarium.....	14
Afbrænding af papir.....	15
Fortrængning af andre brændselskilder	16
Miljøpåvirkninger	19
Samfundsøkonomisk analyse	24
Pris pr. energienhed for blandet papir og kul.....	24
Eksternaliteter	26
Værdiestimater af skadevirkninger.....	27
Negative følgevirkninger.....	29
Omkostninger til køb af papir til brændsel.....	29
Emissioner ved afbrænding af papir	29
Investeringsomkostninger.....	30
Positive følgevirkninger	31
Værdi af kul der fortrænges.....	31
Sparede emissioner ved fyring af kul	32
Samlet økonomisk vurdering af papir til afbrænding.....	33
Følsomhedsberegninger.....	35
Lave værdiestimater af skadevirkninger	35
Højere værdiestimater af skadevirkninger	37
Øvrige skadevirkninger.....	37
Konklusion	39
Tak til	40
Bilag A	44
Bilag B	45
Bilag C	46
Bilag D.....	47
Bilag E	48
Bilag F	49

S a m m e n d r a g

Ifølge affaldsplanen *Affald 21* (Miljø & Energiministeriet 1999), skal en stor del af papir- og papaffald genanvendes. Affaldsbekendtgørelsen pålægger kommunerne at indsamle papir for herefter at anvise de indsamlede mængder til genanvendelse. Målsætningen er, at i 2004 skal 60 % af papir og pap fra husholdninger og 75% fra offentlige og private institutioner genanvendes. Afbrænding af papir til energiudnyttelse er ikke tilladt i dag. Under bibeholdelse af det nuværende indsamlingssystem, konkluderer denne rapport, at der kan opnås en samfundsøkonomisk gevinst ved at nyttiggøre energien i returpapir.

Der er gennemført beregninger for energiudnyttelse på en mængde svarende til 5% af det indsamlede returpapir i perioden 1996-2000. Ved at nyttiggøre returpapir til energi vil det være muligt at fortrænge energiproduktion fra anden mere miljøbelastende energiproduktion. Det antages, at energi fra papir erstatter energi fra kul. Da træ (og dermed papir) har lagret CO₂ fra atmosfæren under væksten, er den CO₂ der frigives ved forbrændingen neutral. Derimod bidrager afbrænding af kul med CO₂, der indgår i Danmarks samlede CO₂-regnskab.

Hvis papiret afbrændes, får det ingen konsekvenser for regnskoven. Det er ikke korrekt, som nogen tror, at papir laves af sjældne træarter fra tropiske skove. Papirproduktion er derimod typisk baseret på træ fra Sverige og Finland. Her dyrkes skov så tømmeret kan indgå i produktion af møbler, brædder, træplader osv. Papirmassen fremstilles fra biprodukter af tømmerproduktion, samt af tyndingstræet i skovene.

Afbrænding af kul og papir påvirker endvidere miljøet med andre væsentlige effekter som SO₂ og NO_x. Disse stoffer er kendt for at forårsage skader på det menneskelige helbred og bygningsværker, samt give forurening af økosystemer. Ved afbrænding af papir og kul sker der både udslip af SO₂ og NO_x. Den afgørende miljøforskel er derfor en mindre udledning af CO₂ fra afbrænding af papir i forhold til kul.

Beregningerne der danner grundlag for analysens resultater er gengivet nedenfor. Beregningerne er opdelt i de direkte økonomiske omkostninger og de miljøøkonomiske omkostninger ved afbrænding af henholdsvis kul og papir. Direkte økonomiske omkostninger - Mængder og pris for papir og kul

Som for andre varer findes der forskellige kvaliteter af returpapir, hvilket afspejler sig i prisen. Den kategori af returpapir med lavest markedsværdi er *blandet papir*. Markedsprisen for blandet papir har gennemsnitlig været 100 kr. pr. ton i perioden 1996-1999. Til sammenligning koster den tilsvarende energi i kul 150 kr. Altså kunne der spares 50 kr. hver gang et ton papir blev brændt og erstattede kul. Beregningerne gennemføres som nævnt ved at anvende en mængde svarende til 5% af det indsamlede returpapir i perioden 1996-2000. Da papir ikke tidligere er anvendt som brændselskilde, kan der være behov for visse tekniske investeringer, så papiret kan håndteres til afbrænding. I rapporten regnes med 35 mio. kr., der indgår som en investering der afskrives over 20 år med en rente på 7%.

Tabel 1. Mængder og økonomiske værdier af blandet papir og kul.

	1996	1997	1998	1999	2000
Indsamling af returpapir, ton	615.000	607.000	656.000	711.000	710.000
Papir til afbrænding, ton (5%)	- 30.750	- 30.350	- 32.800	- 35.550	- 35.500
blandet papir, omkostning pr. ton (miljøstyrelsen)	129	48	63	191	616
Omkostninger til køb af papir	-3.980.000	-1.450.000	-2.050.000	-6.800.000	-21.860.000
Fortrængt mængde kul	18.573	18.331	19.811	21.472	21.442
kul, pris pr. ton (Energistyrelsen)	244	275	273	225	258
Sparede omkostninger til køb af kul	4.530.000	5.040.000	5.400.000	4.820.000	5.530.000
Investeringsomkostninger	-3.560.000	-3.500.000	-3.520.000	-3.500.000	-3.300.000

Miljøøkonomiske omkostninger

Energiproduktionen medfører udledning af de skadelige stoffer CO₂, SO₂ og NO_x. Derfor kan man tillægge en *reduceret* udledning af stofferne en økonomisk værdi, svarende til de skader samfundet undgår. Det kan virke kontroversielt at sætte pris på miljøændringer, men det er nødvendigt for at kunne prioritere på miljøområdet.

Der er udført relativt mange værdisætningsundersøgelser af miljøforbedringer på luftområdet ikke mindst på internationalt niveau. Med henvisning til *ExternE*-projektet anvender Finansministeriet værdier af stofferne CO₂, SO₂ og NO_x, som angivet i tabel 2. Disse værdier har tidligere været brugt i lignende analyser.

Tabel 2. Skadevirkning ved udslip til luften.

	<i>El/fjernvarmeproduktion</i>
CO ₂ , kr. pr. ton	260
SO ₂ , kr. pr. ton	30.000
NO _x , kr. pr. ton	35.000

Ved afbrænding af returpapir i stedet for kul opnår samfundet en ændret udledning af de skadelige stoffer CO₂, SO₂ og NO_x. Nedenfor er angivet emissioner fra de 2 brændselstyper. Da afbrænding af returpapir er CO₂-neutralt er den samfundsøkonomiske værdi nul.

Tabel 3. Emissioner ved afbrænding af papir og kul.

<i>Emission</i>	<i>Papir</i>	<i>Kul</i>
CO ₂ , kg pr. GJ	0	95
SO ₂ , kg pr. GJ	0,025	0,012
NO _x , kg pr. GJ	0,130	0,131

Med de betragtede mængder papir og kul kan de tilhørende emissioner tillægges en samfundsøkonomisk værdi, jf. nedenstående tabel.

Tabel 4. Økonomisk værdi af emissioner fra afbrænding af returpapir og fortrængning af kul.

	1996	1997	1998	1999	2000
Papir til afbrænding, ton	- 30.750	- 30.350	- 32.800	- 35.550	- 35.500
Miljøomkostninger fra papir	-2.460.000	-2.430.000	-2.620.000	-2.850.000	-2.840.000
Reduceret mængde kul, ton	18.573	18.331	19.811	21.472	21.442
Sparede miljøomkostninger fra kul	13.760.000	13.580.000	14.680.000	15.910.000	15.890.000

Samlet vurdering

Nedenstående tabel sammenfatter de beregnede direkte økonomiske værdier og de miljømæssige værdier ved at erstatte kul med returpapir som brændsel.

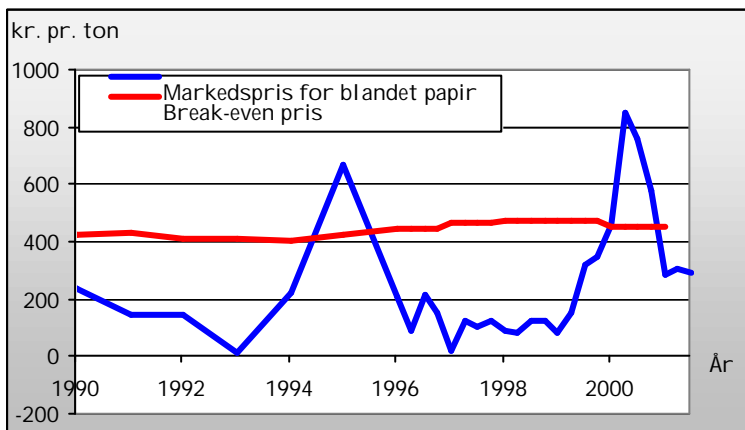
Tabel 5. Samfundsøkonomisk gevinst ved afbrænding af returpapir, mio. kr. (2000-priser).

	1996	1997	1998	1999	2000
Værdi af blandet papir til genbrug	-3,98	-1,45	-2,05	-6,80	-21,86
Miljøomkostninger ved afbrænding af returpapir	-2,46	-2,43	-2,62	-2,85	-2,84
Investeringsomkostninger	-3,56	-3,50	-3,52	-3,50	-3,30
værdi af den fortrængte mængde kul	4,53	5,04	5,40	4,82	5,53
Sparede miljøomkostninger ved afbrænding af kul	13,76	13,58	14,68	15,91	15,89
Samfundsøkonomisk gevinst	8,29	11,26	11,89	7,59	-6,58

Udregningerne for det fremsatte scenarium viser at afbrænding af *blandet papir*, er fordelagtigt, når prisen for blandet papir er lav, som tilfældet var i perioden 1996 til

1999. Her kunne samfundet nyttiggøre blandet papir til energiudnyttelse, hvilket kunne have resulteret i årlige samfundsmæssige gevinster på mellem 8 og 12 mio. kr. Miljøfordelene i form af reducerede emissioner, udgør hovedparten af de samlede gevinster. Derimod ville afbrænding af returpapir indebære et samfundsøkonomiske tab i år 2000. Det skyldes, at prisen for blandet papir var høj dette år, hvormed de afledte miljøfordele ikke står mål med omkostningerne af papir som brændselsinput.

Prisen for blandet papir er en afgørende faktor for resultatet. Et centralt spørgsmål er derfor, ved hvilken pris afbrænding af blandet papir vil resultere i en samfundsøkonomisk værdi på nul (*break-even prisen*). Når prisen på returpapir er højere end break-even prisen, er det fordelagtigt for samfundet at anvende returpapir til genbrug frem for til energiudnyttelse. Med de fremsatte data beregnes break-even prisen til 400 kr. pr. ton. Sammenlignet med markedsprisen for *blandet papir*, har break-even prisen i størstedelen af tiden været højere end markedsprisen. Det er illustreret i nedenstående figur.



Figur 1. Sammenligning af markedsprisen for blandet papir og break-even prisen.

Når prisen er under break-even prisen (ca. 400 kr.) er det samfundsøkonomisk fordelagtigt at anvende returpapir til energiudnyttelse. Energiudnyttelse af returpapir kan derfor bidrage til, at opnå en bedre udnyttelse af samfundets ressourcer til fordel for både økonomi og miljø. Set i det lys er en juridisk hindring mod afbrænding af returpapir uhensigtsmæssig.

I n d l e d n i n g

Formålet med nærværende samfundsøkonomiske analyse har været at vurdere, om nyttiggørelse af returpapir, i form af energiudnyttelse ved afbrænding, kan være samfundsmæssigt fordelagtigt. Ved at udnytte energien fra returpapir vil det være muligt at fortrænge anden mere miljøbelastende energiproduktion - fx kulfyring. Da træ (og dermed papir) har lagret CO₂ fra atmosfæren under væksten, er den CO₂, der frigives ved forbrænding, neutral i forhold til afbrænding af kul. Som illustration gennemføres beregninger for energiudnyttelse på 5% af de indsamlede mængder returpapir i perioden 1996-2000. I analysen er der som udgangspunkt anlagt en national synsvinkel. Denne afgrænsning er valgt på baggrund af de seneste års udvikling af internationale miljøaftaler (fx Kyoto-protokollen), der betyder, at udviklede lande påtager sig *individuelle* specifikke reduktionsforpligtelser. For Danmarks vedkommende drejer det sig derfor om, under hensyntagen til miljøaftaler, at tilrettelægge produktion og energipolitik, som fører til de bedste samfundsøkonomiske resultater.

I affaldshierarkiet favoriseres genanvendelse fremfor forbrænding, der igen prioriteres højere end deponering. Affaldsbehandling er ifølge affaldshierarkiet prioriteret på et miljø- og ressourcemæssigt grundlag. Genanvendelse indeholder råvare- og energibesparende elementer, der medfører begrænsninger i ressourceforbruget. Ved forbrænding udnyttes energiindholdet én gang for alle og affaldsvolumenet reduceres. Forbrænding af affald anvendes til produktion af el og varme, der kan fortrænge energiproduktion fra fossil brændsel (Miljø- og Energiministeriet 1999a).

Ifølge regeringens strategi for bæredygtig udvikling (Regeringen 2002) er affald en ressource, der bør genanvendes. Denne overordnede målsætning kan dog i nogle tilfælde stå i vejen for mere miljøvenlige alternativer end genanvendelse. I en nyligt udkommet samfundsøkonomisk analyse, udarbejdet af Miljøstyrelsen, sammenlignes forbrænding og genanvendelse af plastflasker/dunkeaffald fra husholdninger, se (Strandmark et al. 2002). Analysen viser, at et skrabet indsamlingssystem med aflevering på genbrugsstationer er forbundet med ekstra omkostninger på ca. 300 kr. pr. ton sammenlignet med et alternativ, hvor affaldet brændes. Altså er det en samfundsøkonomisk uhensigtsmæssig investering (altid) at foretage indsamling af affald til genanvendelse, når der findes alternative metoder at anvende ressourcerne på.

Med analysen fra Miljøstyrelsen er det nærliggende at formode, at ikke kun plastflasker/dunkeaffald, men (måske) også papir, kan anvendes på anden og bedre vis, således at samfundet opnår en bedre udnyttelse af de tilstedeværende ressourcer. Den alternative anvendelsesmulighed i form af energiudnyttelse er senest foreslået af Skovforeningen (Skovforeningen 2002). Ifølge Skovforeningen bør returpapir bruges, hvor det er et økonomisk og miljømæssigt godt supplement eller alternativ til nypapir.

Overordnet antager nærværende analyse, at genanvendelse kan være samfundsøkonomisk fordelagtigt. Det er derfor *ikke* hensigten med denne rapport at fjerne indsamlingssystemet for papir. Analysen vil derimod forsøge at vurdere, om samfundet *til tider* kunne være bedre tjent med at nyttiggøre energien i returpapir ved afbrænding. En sådan betragtning er kun mulig, når det eksisterende indsamlingssystem bibeholdes. Når papir anvendes som brændsel, fortrænges andre brændselskilder, hvormed samfundets ressourceallokering ændres. Dermed bliver spørgsmålet: Opnås der en samlet fordel ved energiudnyttelse af returpapir når det antages at fortrænge andet brændsel, fx kul? Nyttiggørelse ved afbrænding af papir skal derfor opfattes som en mulighed for at opnå en (endnu) bedre udnyttelse af samfundets ressourcer.

R e t u r p a p i r o g a f b r æ n d i n g

Danmark har hidtil ført en politik rettet mod et højt niveau for genanvendelse, hvor samfundet er blevet pålagt at indsamle og genanvende ressourcer - fx flasker, glas og papir. Målsætningen er ifølge affaldsplanen "Affald 21" (Miljø- og Energiministeriet 1999c), at i 2004 skal 60 % af papir og pap fra husholdninger og 75% fra offentlige og private institutioner genanvendes. Affaldsbekendtgørelsen (nr. 619 af 27. juni 2000) pålægger kommunerne at indsamle papir til genanvendelse. I bekendtgørelsen fremgår det, at i bebyggelser med mere end 1.000 indbyggere skal kommunalbestyrelsen iværksætte indsamling fra husholdninger af dag- og distriktsblade, tryksager, telefonbøger m.m. Kommunen skal herefter anviser de indsamlede mængder til genanvendelse (jf. § 36 og §42 i affaldsbekendtgørelsen). Afbrænding af papir er dermed ikke tilladt.

Men genanvendelse er ikke den eneste mulighed for samfundet for at udnytte returpapir som ressource på en hensigtsmæssig måde. Nyttiggørelse ved afbrænding af returpapir til energiudnyttelse er en anden mulighed. Her kan papiret indgå på linie med andre brændsler som halm, flis og træpiller. Derved kan fyring med væsentligt mere miljøbelastende fossile brændsler fortrænges, fx kul. Modsat kul betragtes papir som CO₂-neutralt. Derved kan samfundet spare miljøomkostninger, når papir nyttiggøres gennem afbrænding og derved fortrænger mere CO₂-belastende energiproduktion.

Returpapir er ikke en entydig varebetegnelse, men dækker over mange varierende typer, afhængigt af kvaliteten. For at bevare overskueligheden opereres der hovedsageligt med 4 kategorier (Miljøstyrelsen 2002):

Bedre kvaliteter - indsamles fra grafiske virksomheder m.fl. Anvendes som råvare til fremstilling af fx skrivepapir.

Aviser og ugeblade - indsamles typisk fra husholdninger. Anvendes som råvare til fremstilling af æggebakker, tapetpapir, aftøringspapir m.m.

Bølgepap - indsamles fra bl.a. supermarkeder og handelsvirksomheder. Anvendes som råvare til fremstilling af bølgepap, råpapir og massiv pap.

Blandet papir og pap - indsamles fra bl.a. grafisk industri, kontorer og forretninger. Anvendes til bølgepap, råpapir, massivt pap og skrivepapir.

Miljøstyrelsen har opgjort det samlede forbrug og genanvendelse af papir i Danmark på baggrund af indberetninger fra returpapirforbrugende virksomheder (Miljøstyrelsen 2002). I nedenstående tabel er forbrug og genanvendelse af papir gengivet for perioden 1996-2000.

Tabel 6. Forbrug og genanvendelse af papir 1996-2000 (Miljøstyrelsen 2002).

	1996	1997	1998	1999	2000
Forbrug af papir, ton	1.181.000	1.349.000	1.304.000	1.326.000	1.332.000
Indsamling af papir til genanvendelse, ton	615.000	607.000	656.000	711.000	710.000
- pct.	52,0	45,0	50,4	53,6	53,3

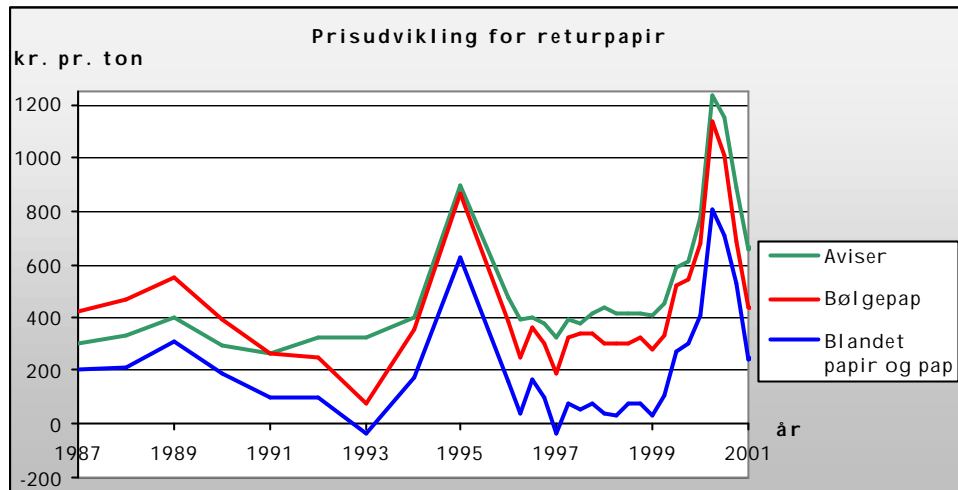
Returpapirforbrugende fabrikker indkøber returpapir dels fra genindvindingsindustrien, dels direkte fra affaldsproducenterne. Returpapir sælges af returpapirhandlere til de returpapirforbrugende fabrikker eller eksporteres. I tabel 7 er de returpapirforbrugende fabrikkers forbrug af returpapir fordelt på kvaliteter for perioden 1996-2000.

Tabel 7. Papirkvaliteter forbrugt på returpapirforbrugende fabrikker (Miljøstyrelsen 2002).

	1996	1997	1998	1999	2000
Bedre kvaliteter, ton	77.000	103.000	104.000	6.000	6.000
Aviser og ugeblade, ton	64.000	68.000	65.000	67.000	57.000
Bølgepap, ton	157.000	164.000	173.000	182.000	180.000
Blandet papir og pap, ton	90.000	70.000	67.000	165.000	190.000

Den varierende kvalitet for de 4 papirkategorier indvirker på markedsprisen. Miljøstyrelsen har opgivet de kvartalsvise priser for tre kategorier af papir, baseret på oplysninger fra det tyske tidsskrift EUWID¹, se Miljøstyrelsen (2002). Ifølge Miljøstyrelsen afspejler den danske prisudvikling de tyske priser, eftersom de konjunkturmæssigt følger hinanden. Figur 2 illustrerer prisudviklingen siden 1987 for bølgepap, aviser og blandet papir.

¹ De angivne priser fra EUWID er angivet "frit leveret til fabrik", dvs. at leverandøren betaler transportomkostningerne.



Figur 2. Returpapirpriser, kr. pr. ton (Miljøstyrelsen 2002).

Som det fremgår af figur 2, forekommer der store udsving i prisen for de tre kategorier af papir. Således var prisen i år 2000 særdeles høj, men faldt umiddelbart efter. I 1993 og 1997 var der negative priser for papirkategorien *blandet papir*, dvs. at det var forbundet med omkostninger at afsætte denne vare. Ifølge Miljøstyrelsen påvirkes det danske marked for returpapir i betydeligt omfang af priserne på det internationale marked. Særlig efterspørgslen i Fjernøsten er en vigtig faktor for prisdannelsen (Miljøstyrelsen 2002). Den danske indsamling af returpapir er yderst marginal i et internationalt perspektiv. Forbruget på danske returpapirforbrugende virksomheder udgør således kun 1-2% af den samlede mængde i EU (Miljøstyrelsen 2002). Markedet for returpapir er omfattende, og en marginal ændret anvendelse af returpapir i Danmark antages ikke at påvirke prisen. Markedsprisen vil stadig være fastsat som følge af andre faktorer - eksempelvis efterspørgslen i Fjernøsten. Det er hypotesen, at energiudnyttelse af papirkategorien *blandet papir* er mest interessant, eftersom denne papirkategori besidder den laveste markedsværdi (jf. figur 2).

Der er tidligere udarbejdet flere livscyklusanalyser af energiudnyttelse ved afbrænding af papir. I midten af 90'erne gennemførte Miljøstyrelsen en omfattende livscyklusanalyse med tilhørende økonomiske beregninger - se Dalager et al. (1995b). Her var et af de valgte scenarier afbrænding af papir. Konklusionen var, at energiudnyttelse af returpapir ikke resulterede i samfundsøkonomiske gevinster. Imidlertid blev de miljømæssige konsekvenser ikke tillagt *samfundsøkonomiske værdier*. På den baggrund vurderes analysen fra Miljøstyrelsen ikke at foretage en korrekt opgørelse af miljøpåvirkningerne i et samfundsøkonomisk perspektiv.

Nærværende analyse vil foretage en samfundsøkonomisk analyse. Her er det konsekvenser for det danske samfund, som udgør vurderingsgrundlaget. Det gælder opfyldelse af de miljøaftaler som Danmark, på lige fod med andre nationer, har forpligtet sig til internationalt. Nogle kan dog have den opfattelse, at danske beslutningstagere burde anlægge en *global* synsvinkel, når man i Danmark gennemfører politiske tiltag med miljømæssige konsekvenser. I denne rapport er der i basisscenariet valgt en national afgrænsning af de miljømæssige effekter ved nyttiggørelse af returpapir. Denne afgrænsning er valgt på baggrund af de seneste års udvikling af internationale miljøaftaler. Det gælder fx Kyoto-aftalen, der har medført, at udviklede lande (dog ikke USA) har påtaget sig *nationale* CO₂-reduktionsforpligtelser. Danmark har således påtaget sig en opgave, der kræver en given reduktion af drivhusgasser - *uanset* den økonomiske og samfundsmæssige udvikling i øvrigt. Ligeledes har eksempelvis Sverige påtaget sig tilsvarende forpligtelser. Det er således ikke længere relevant, at Danmark skulle have et ansvar for, hvordan Sverige lever op til deres CO₂-forpligtelse. Man må gå ud fra, at de svenske beslutningstagere tilrettelægger deres politik på den mest hensigtsmæssige måde under hensyntagen til ændringer i bl.a. træ- og papireksporten. Den pris, Danmark og andre lande må betale for produkter fra Sverige, må derfor antages at indeholde de samfundsmæssige omkostninger som udledninger af drivhusgasser giver anledning til i Sverige. For Danmark drejer det sig således alene om at tilrettelægge produktion og energipolitik som fører til de bedste samfundsøkonomiske resultater for Danmarks vedkommende.

Der gøres opmærksom på, at til forskel fra Miljøstyrelsens analyse, vil beregningerne i nærværende analyse, ske under hensyntagen til konjunkturudsving på markedet for returpapir. Det formodes, at prisen for blandet papir har (afgørende) indflydelse på, om afbrænding til tider er et fornuftigt alternativ til andre brændelseskilder. Det er i den forbindelse væsentligt at pointere systemets fleksibilitet, forstået således at når prisen er høj for returpapir, anvendes det til genbrug, mens energiudnyttelse ved afbrænding kan være samfundsmæssigt mere fordelagtig, når prisen er lav. Der er derfor *ikke* tale om, at returpapir i Danmark altid skal anvendes energimæssigt, men at samfundet undertiden kan opnå en bedre nyttiggørelse af papir, når markedsforholdene tillader det.

Udtages en mængde papir til afbrænding, vil der på et tidspunkt skulle suppleres med virgint papir, og produktionen af dette nye papir bidrager med emissioner. Da der ikke forekommer virgin produktion af papirmasse i Danmark, og der er anlagt en national betragtning i analysen, vil disse effekter ikke indgå. Det skal dog nævnes at

råmaterialet, der anvendes til fremstilling af papir i Norden, stammer fra tyndingstræ i skove (Dalager et al. 1995a). Ifølge Skovforeningen fremmer udtyndingerne skovens produktivitet og sundhed. Tyndingstræet er således et biprodukt fra den økonomisk vigtige produktion af tømmer. I Sverige er der et årligt overskud på 30 mio. m³ træ, som ikke anvendes i produktion (Jerkeman & Remröd 2002). Ifølge Miljøstyrelsen fældes der ikke regnskov med henblik på fremstillingen af papirfibre (Johnsen 2001b). Fiber materialet til det papir der benyttes i Danmark, stammer primært fra skovbrug i de nordiske lande. FAO² fremsætter forventninger om øget produktion og vækst af træ i Europa i perioden 1990-2020, hvilket muliggør en højere selvforsyning af træ på baggrund af europæiske skovressourcer (FAO 1996). Skovarealet stiger altså i Europa, og ifølge FAO høstes der kun 70 % af skovens årlige tilvækst af træmasse. Øget brug af træ til papirfremstillingen er derfor foreneligt med bæredygtig skovudnyttelse i vores del af verden.

Scenarium

For at foretage en økonomisk vurdering af den alternative anvendelse af returpapir, fremsættes et scenarium, hvor marginale ændringer af såvel markeds- og ikke-markedsomsatte³ goder ved ændret ressourceanvendelse vil blive tillagt økonomiske værdier. Det er valgt at redegøre for de årlige økonomiske konsekvenser i den 5-årige periode, 1996-2000, ved at omlægge 5% af det indsamlede papir til energimæssig udnyttelse. Perioden 1996-2000 er valgt, hvor prisen for returpapir har varieret fra -29 (omkostninger forbundet med afsætning) til 808 kr. pr. ton (jf. figur 2) og dermed repræsenterer de konjunkturudsving, der har præget markedet. Set over en længere tidsperiode har prisen for blandet papir været relativ lav (ofte under 200 kr. pr. ton), hvorfor den særdeles høje pris i år 2000 ikke vurderes at være repræsentativ for det generelle prisniveau. Således faldt prisen for blandet papir i år 2001 til et niveau på ca. 250 kr. pr. ton. De 5% af returpapiret, der gennemføres beregninger for, antages at udgøre en marginal ændring i forhold til den indsamlede mængde returpapir i Danmark. Mængden svarer til mellem 30 og 35.000 ton papir årligt og er i samme størrelsesorden som forbrændingsscenariet i Miljøstyrelsens analyse fra 1995 (Dalager et al. 1995b). De 5% vil udelukkende bestå af *blandet papir*, som er den papirkvalitet, der har lavest markedsværdi og dermed er mest interessant til alternativ anvendelse.

² Food and Agriculture Organization of the United Nations

³ i form af eksternaliteter

De returpapirforbrugende virksomheder antages ikke at blive påvirket i forbindelse med anvendelsen af *blandet papir* til energiudnyttelse. Da markedet for returpapir er domineret af udlandet, og prisdannelsen bl.a. afhænger af efterspørgslen i Fjernøsten, vurderes en marginal højere efterspørgsel i Danmark ikke at indvirke på markedsprisen. Danske virksomheder vurderes derfor stadig at kunne udnytte deres produktionskapacitet fuldt ud ved import af råvarer fra udlandet. Af indberetninger fra Miljøstyrelsen fremgår det, at der i 1999 blev importeret 53.000 ton blandet papir og 62.000 ton i år 2000 (Miljøstyrelsen 2002). DanFiber A/S, der videresælger genbrugeligt affald, vurderer, at der ikke vil være hindringer ved en import af blandet papir til de gældende markedspriser (Christina Bang pers. com.). Ved en sammenligning af eksisterende analyser af genanvendelse versus afbrænding af papir er der udbredt enighed om, at transport ikke er en nøgleparameter, der påvirker den overordnede konklusion (Finnveden & Ekvall 1998). Det vurderes derfor ikke som et problem, at transport ikke indgår i denne analyse.

Afbrænding af papir

Der foreligger ingen erfaringer i Danmark med afbrænding af papir i rene fraktioner til energiudnyttelse i stor skala. Ud fra papirets form og egenskaber er det muligt at give en forsigtig vurdering af, hvor papiret med størst fordel kan anvendes til energiudnyttelse. Sammenlignet med andre brændsels fysiske konsistens og forbehandling, vil papir antageligt minde mest om halm. Halm ankommer i store baller til varme- og kraftvarmeværker, hvor det løsnes og føres gennem en indfyringskanal med forbrænding til følge. Restproduktet ved afbrændingen er 3-5% aske (Nikolaisen et al. 1998).

Det vurderes, at papir kan balles og herefter gennemgå en lignende mekanisk forbehandling som halm. Den fremkomne askemængde ved afbrænding af papir vurderes gennem beregninger at være af samme størrelsesorden som halmafbrænding – ca. 5% (jf. bilag A). Asken vil primært bestå af brændt kalk (CaO) fra fyldstoffer i papirprodukterne. Brændt kalk vurderes ikke at udgøre et problem, da det kan indgå i fx cementproduktionen (Aalborg Portland A/S 2002). Taget i betragtning at halm og papir er to forskellige produkter, vil selve forbrændingsprocessen forløbe forskelligt. Det må derfor anses for nødvendigt med nogle investeringer, til at justere de tekniske installationer som lufttilførsel og fremførselshastighed før papirafbrændingen kan blive succesfuld.

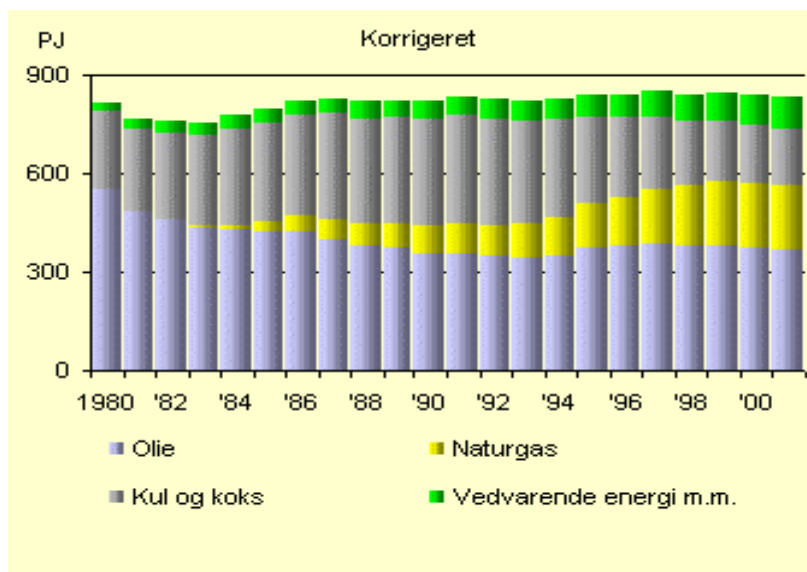
Endvidere skal betragtningerne af røggasindholdet fra papirafbrændingen medtages. Mindre lokale halmfyrede varmeværker vurderes ikke at besidde den nødvendige

teknik til at kunne give den rigtige efterbehandling af røggassen fra papirafbrændingen. Det betyder, at man enten skal tilpasse papirets sammensætning til afbrændingsfaciliteterne, eller samle afbrændingen af papir til få steder som har den fornødne teknologi. Sidstnævnte mulighed anses for at være den mest realistiske, så afbrænding af papir bør derfor ske på relativt store decentrale kraftvarmeværker.

Fortrængning af andre brændselskilder

For at analysere hvorvidt afbrænding af papir er en fornuftig samfundsmæssig disposition, er det afgørende hvilken type brændsel papir fortrænger. Det er således uhensigtsmæssigt at anvende papir som brændselsinput, såfremt det fortrænger anden biobrændsel, som ligeledes er CO₂-neutralt, eller brændsel som forårsager lave emissioner af CO₂ pr. energimængde – fx naturgas.

Energistyrelsen har opgjort udviklingen af energiforbruget i Danmark. Det korrigerede bruttoenergiforbrug har i 2001 næsten samme størrelse som i 1990 (det er 1,3% højere), men forbruget af de enkelte brændsler har udviklet sig meget forskelligt, jf. nedenstående figur.

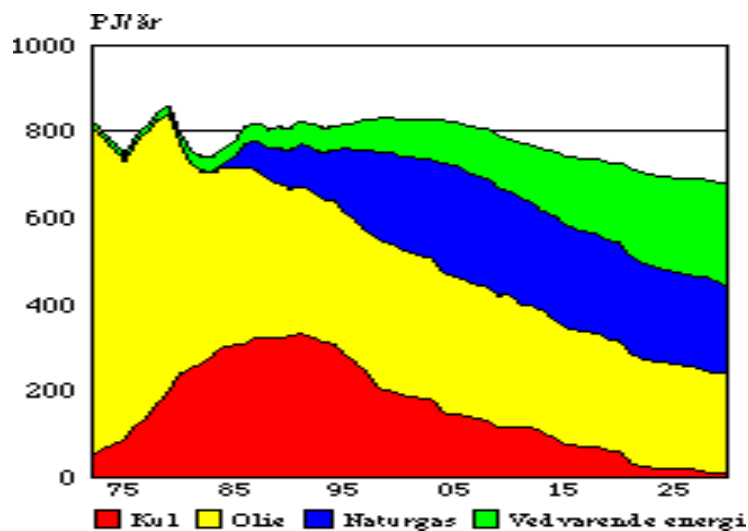


Figur 3. Bruttoenergiforbrug fordelt på brændsler (Energistyrelsen 2002)

Kulforbruget er faldet stærkt siden 1991, mens der har været en markant stigning i forbruget af naturgas og vedvarende energi m.m. Det skyldes bl.a. den vedtagne biomasseaftale fra 1993 (Regeringen 1993). Her er det anført, at anvendelse af biomasse til energiformål kan begrundes ud fra miljø- og ressourcehensyn. Endvidere taler miljøhensyn for, at anvendelsen af affald i forbindelse med

kraftvarmeproduktion fortsat skal gå forud for andre brændsler. Gennem en hensigtsmæssig udnyttelse af landets biomasseressourcer vil det være muligt at opnå en ønskværdig reduktion af energiforsynings miljøbelastning. Papir er imidlertid ikke inkluderet på listen om biomasseaffald (BEK nr. 638), men betragtes i stedet som almindeligt affald (BEK 619). Her skal indsamlet papir anvises til genanvendelse.

I energihandlingsplanen Energi 21 er den fremtidige udvikling for energiforbruget klarlagt på baggrund af de allerede besluttede tiltag samt en realisering af nye initiativer. Forløbet medfører, at det endelige energiforbrug i perioden 1994 til 2030 falder med ca. 14%, mens bruttoenergiforbruget falder med ca. 17% og med en udvikling i brændselsfordeling som vist på nedenstående figur.



Figur 4. Bruttoenergiforbruget i planforløbet opdelt på brændsler. (Regeringen 1996)

I Energi 21 forventes det, at den stigende udbygning med vindkraft og udnyttelse af biomasse giver et fald i anvendelsen af fossile brændsler. Kombineret med en stigende brug af naturgas, medfører det en forventning om, at anvendelsen af kul stort set ophører ved udgangen af perioden. På den baggrund vurderes det, at der er potentielle og realistiske muligheder for, at returpapir kan bidrage med reduktion af anvendelsen af fossile brændsler, samtidig med at man opretholder energiproduktionen. Derved kan returpapir indgå som brændsel og medvirke til at realisere målsætningerne i energihandlingsplanen, hvor der opereres med en kraftig forøgelse af CO₂-neutral brændsel i energisystemet.

Det er ikke usandsynligt, at det ved en kort tidshorisont er vanskeligt at realisere udnyttelsen af papirs energiindhold indenfor kraftvarmeproduktionen, på

bekostning af fossile brændsler som kul og olie. Traditionel kraftvarmeproduktion er dog ikke eneste mulighed for anvendelse af papirs energiindhold. Industrielt brug af alternative brændsler på bekostning af kul og olie ved energitunge processer er i en samfundsøkonomisk henseende ligeså favorabelt. Konkret kan nævnes cementproduktionen i Aalborg, hvor der årligt anvendes ca. 500.000 ton kul og olieprodukter (Aalborg Portland A/S 2002). Her vurderes papir, og for den sags skyld andet brændbart affald, med fordel at kunne substituere brugen af fossilt brændsel i cementovnene⁴. Afbrænding af affaldsprodukter (ikke papir) begrænses dog af den pålagte afgift på affald, hvorved prisen pr. energimængde bliver højere end fossilt brændsel (CemMiljø A/S 2002)

⁴ Aalborg Portland A/S har gennem sit datterselskab, Cemmiljø A/S, investeret ca. 45 mio. kr. i håndteringssystemer til forbehandling af brændbart affald og biomasse (CEMMILJØ A/S 2002).

Miljøpåvirkninger

Ved forbrændingsprocesser til energiformål fremkommer emissioner bl.a. til luften i form af CO₂, SO₂, NO_x, N₂O, NMVOC⁵ og CO (Eltra 2002). Hertil skal lægges udslip af støvpartikler, organiske og/eller tungmetallholdige forbindelser (Fenger & Kilde 1994). Der fremkommer også restprodukter i form af aske (se bilag A), kemisk affald fra røggasrensning samt processpildevand (se bilag F). Disse udledninger sker ikke kun ved afbrænding af papir, men også ved afbrænding af fossilt og biomassebaseret brændsel. Et afgørende spørgsmål er derfor: Hvad er miljøeffekterne ved afbrænding af papir, og hvad dette i givet fald fortrænger?

Accepteres papirafbrænding på lige fod med biomasse, vil CO₂-emissionerne være neutrale. Denne betragtning er i overensstemmelse med den tidligere analyse fra Miljøstyrelsen (Dalager et al. 1995a). Energianlægs indretning og teknologi er i høj grad bestemmende for udslip (Fenger&Kilde, N. A. 1994). Ligestilles SO₂, NO_x, N₂O, NMVOC og CO-emission fra papirafbrænding med emissioner fra energianlæg med prioriteret status⁶, så vil emissionsværdierne andrage størrelser som vist i tabel 8. Sammenlignes disse værdier med emissioner fra kulbaseret central kraftvarmeproduktion, ses at særligt CO₂-udledningen mindskes kraftigt ved afbrænding af papir.

Tabel 8. Emissioner ved afbrænding af papir og kul. Emissionerne er udregnet pr. GJ. For papir er anvendt data fra decentrale kraftvarmeverker (Produktion baseret på biomasse og affald), og for kul er anvendt data fra centrale kraftvarmeverker (Produktion baseret på kul eller olie). Værdierne er opgjort efter energiindholdsmetoden (Elkraft System 2002; Eltra 2002). For yderligere detaljer se bilag B og C.

Emission	Enhed	Papir ⁷	Kul ⁸
CO ₂	Kg pr. GJ	0	95
SO ₂	Kg pr. GJ	0,025	0,012
NO _x	Kg pr. GJ	0,130	0,131
CH ₄	Kg pr. GJ	0,032	0,002
N ₂ O	Kg pr. GJ	0,004	0,003
NMVOC	Kg pr. GJ	0,002	0,003
CO	Kg pr. GJ	0,007	0,024

⁵ Non-Methane Volatile Organic Compounds.

⁶ Anlæg hvor der afbrændes forskellige brændselstyper som halm, træpiller og lign. enten helt eller delvis sammen med kul, olie eller naturgas. Kraftvarmeproduktion fra sådanne anlæg har prioritet fremfor energiproduktion på anlæg, der udelukkende bruger kul eller olie.

⁷ For nærmere detaljer henvises til bilag B.

⁸ For nærmere detaljer henvises til bilag C.

Emission af CH₄, N₂O, NMVOC og CO er med en enkelt undtagelse højere ved afbrænding af papir end ved afbrænding af kul. Ud fra en CO₂-ækvivalens betragtning vurderes netto-tilvæksten for disse fire stoffer som mindre væsentlige (ca. 5%). Partikler samt andre organiske og uorganiske udledninger, herunder tungmetaller m.m., bør også medtages i betragtningerne ved afbrænding af papir. I tabel 9 er miløeffekterne kvantificeret ved afbrænding af henholdsvis kul og papir for en energimængde svarende til brændværdien i 30.000 tons papir (453.000 GJ).

Tabel 9 Miljøparametre ved afbrænding på kraftvarmeværker af en energimængde svarende til brændværdien i 30.000 tons papir (453.000 GJ). Afbrænding af papir sidestilles med afbrænding af biomasse. Værdierne er udregnet på baggrund af data leveret fra Institut for Produktion og Ledelse ved Danmarks Tekniske Universitet (Se evt. bilag F).

Parametre	Navn	Enhed	Kul	Papir (biomasse)
Affald	Uspec. Slagge & aske, energi	Ton	217	45
Luft-emission	Cu (kobber)	Kg	0,42	14,95
Luft-emission	Hg (Kviksølv)	Kg	3,44	0,15
Luft-emission	Chrom(III)	Kg	0,39	7,70
Luft-emission	Ni (nikkel)	Kg	0,46	
Luft-emission	Pb (bly)	Kg	0,92	30,35
Luft-emission	Mo (molybdæn)	Kg	0,24	
Luft-emission	Hydrogenchlorid (HCl)	Kg	3.307	
Luft-emission	Uspec. Partikler	Kg	6.795	6.795
Luft-emission	As (arsen)	Kg	0,52	0,77
Luft-emission	Cd (cadmium)	Kg	0,03	1,49
Luft-emission	Sb (antimon)	Kg	0,07	
Luft-emission	Mn(mangan)	Kg	0,59	
Luft-emission	Dioxin	Mg	2,27	2,27
Luft-emission	Tot-P	Kg	3,62	
Luft-emission	Sr (strontium)	Kg	0,41	
Luft-emission	Radioaktiv emission	KBQ	285.390	
Luft-emission	Benz(a)pyren, PAH'er	Kg	0,00	7,70
Luft-emission	Cobalt	Kg	0,21	
Luft-emission	B (bor)	Kg	71,12	
Luft-emission	Th (thorium)	Kg	0,04	
Luft-emission	Tl (thallium)	Kg	0,02	
Luft-emission	Se (selen)	Kg	5,21	
Luft-emission	Sn (tin)	Kg	0,08	
Luft-emission	Zn (zink)	Kg	2,40	181,20
Luft-emission	Mg (magnesium)	Kg	49,83	
Luft-emission	U (uran)	Kg	0,03	
Luft-emission	V (vanadium)	Kg	0,50	14,95
Vand-emission	Chlorat (ClO ₃)	Kg	158,55	

Som det ses af tabel 9 er det vanskeligt at give et entydigt billede af, om det samlede emissionsbillede bliver bedre eller værre ved afbrænding af papir i stedet for kul. Eksempelvis vil papirafbrænding på kraftvarmeværker give en større emission af chrom, bly, cadmium og PAH'er. Omvendt vil emissioner af kviksølv, radioaktivitet og mængden af uspecificeret affald blive mindsket ved reduktion af kulfyringen. Ud fra de kvantificerede data i tabel 9 skønnes papirafbrændingen ikke at bidrage med nationale miljøpåvirkninger af væsentlig karakter i forhold til afbrænding af kul.

Antager man, at papir afbrændes i cementovne er det muligt at kvantificer væsentlige miljøeffekter som anført i tabel 10.

Tabel 10 Udledninger ved afbrænding af papir i cementovne. Værdierne er udregnet på baggrund af miljøredegørelser fra Aalborg-portland A/S.

Emissioner, cementovn	kg/GJ	Kg/papirmængde*
CO ₂	0	0
SO ₂	0,001	277
NO _x	0,155	70.124
CO	0,023	10.518
Støv	0,004	1.643
Hg	0,000	0
Øvrige tungmetaller	-	-
HCl	0,000	105
HF	0,000	141
Dioxin	-	-
Affald, depot	0,863	391.123

*: Papirmængden svarer til 30.000 tons som fastsat i scenariet.

-: Værdier under detektionsgrænsen i røggassen.

Forbrændingsprocessen i cementovnene bevirker at svovl opfanges i cementprodukterne, hvorfor udledningen af SO₂ er stærkt begrænset (jf. tabellerne 8 og 10). Hvad angår NO_x er udledningerne på identisk niveau. Emissioner af organiske forbindelser vil være kraftigt begrænset, da temperaturen i cementovne er høj (900-1500^o C), og opholdstiden for røggassen tilstrækkelig lang til at alt organisk materiale forbrænder. Tungmetallforbindelser vil blive opfanget i et såkaldt cyklontårn og indgå i det færdige cementprodukt eller fanges i et elektrofilter (Aalborg Portland A/S 2002).

De inkluderede miljøeffekter, der analyseres i rapporten, afgrænses til stofferne CO₂, SO₂ og NO_x. Luftemissioner af NO_x, SO₂ og CO₂ er alle velkendte og må betragtes som ganske væsentlige i forbindelse med energirelaterede problemstillinger. De valgte elementer vurderes at give et dækkende billede for omfanget af bidrag til

drivhuseffekt, eutrofiering, fotokemisk dannelse af ozon og delvist human toksicitet i luften. Endvidere er luftområdet ifølge Finansministeriet et af få områder, hvor fastsættelse af miljøomkostninger nærmer sig en repræsentativ dækning (Finansministeriet et al. 2001b). Øvrige miljøeffekter skal dog ikke betragtes som betydningsløse, men vurderes p.t. at være mindre væsentlige i den energirelaterede problemstilling.

Selv ved lave koncentrationer påvirker SO_2 slimhinderne i luftvejene, og i bronchierne udvikles luftvejsforsnævring. Personer med astma eller hyperreaktive luftveje er særligt følsomme overfor SO_2 -forurening (Larsen et al. 1997). SO_2 bidrager også kraftigt til dannelsen af syreregn, som forårsager korrosion, planteskader, skader på bygningsværker m.m. (Fenger 1994; Mortensen & Hansen 1994)

Af NO_x -forbindelserne er det særligt NO_2 , som påvirker sundhedseffekten negativt. Størstedelen af den indåndede NO_2 absorberes i lungerne, der kan forårsage celledskader og vævsforandring. NO_2 bidrager endvidere til generel nedsat modstandskraft overfor infektioner i luftvejssystemet (Larsen et al. 1997). NO_x kan indgå i skabelsen af fotokemiske oxidanter, som har stor betydning for bl.a. koncentrationen af jordnær ozon (Seinfeld & Pandis 1998). Forhøjet koncentration af ozon kan bidrage til hoste, tørhed i halsen, trykken for brystet, bryst smerter, øget slimproduktion, træthed, utilpashed og kvalme (Larsen et al. 1997). Kombinationsforsøg med NO_2 og ozon har vist at ved langtidseksposering hos rotter, udviklede disse lungefibrose og fik nedsat modstandsdygtighed overfor bakterielle lungeinfektioner (Larsen et al. 1997).

CO_2 udøver ikke nogen toksikologisk skadevirkning på mennesker og dyr, men emission af CO_2 tillægges en stor del af skylden for igangværende og kommende klimaændringer (Pedersen & Skov 1994; Seinfeld & Pandis, S. N. 1998). Konsekvenserne af klimaændringer er vanskelige at klarlægge, da omfang og tidshorisont er meget uklare.

De miljøkonsekvenser, der vil indgå i nærværende analyse, begrænser sig til nationale konsekvenser. Til trods for dette, anbefales det, at *"så vidt muligt både at beskrive miljøkonsekvenserne for Danmark og for udlandet"* (Møller et al. 2000). I dette tilfælde kan påvirkninger i udlandet tænkes at fremkomme som følge af en øget produktion af virgint papir. Ved afbrænding af returpapir i Danmark med 27.000 ton, undersøgte Miljøstyrelsen de afledte miljøkonsekvenser i udlandet, jf. (Dalager et al. 1995b). I undersøgelsen blev Sverige brugt som referenceland. I nedenstående tabel

er miljøkonsekvenserne ved virgin produktion gengivet på baggrund af analysen fra Miljøstyrelsen. I bilag D er der redegjort nærmere for konsekvenserne i Sverige.

Tabel 11. konsekvenser i Sverige ved erstatning af 27.000 ton brændt papir (Dalager et al. 1995b).

Stof	Enhed	Værdi pr. ton
CO ₂	Kg	111
SO ₂	Kg	1,4
NO _x	Kg	1,1
Spildevand	Ton	39
Affald	Kg	22
AOX	Kg	0,1
COD	Kg	20

Tabel 11 viser, at der foruden luftemissioner også er spildevandsudledninger og produktion af affald. Endvidere fremkommer AOX, der er en fælles betegnelse for klorerede organiske blegemidler. Ifølge Miljøstyrelsen dannes der miljøskadelige organiske klorforbindelser ved brug af klor eller klordioxid til blegning af papirmasse, der risikerer at slippe ud i spildevandet. Under den biologiske rensning af spildevandet i renseanlæg bliver de ikke nedbrudt fuldstændigt, så en del af stofferne udledes til omgivelserne (Johnsen 2001b). De organiske klorforbindelser påvirker bl.a. formeringsevnen hos fisk, og ophobes tillige i sedimentet (Sørensen 1999).

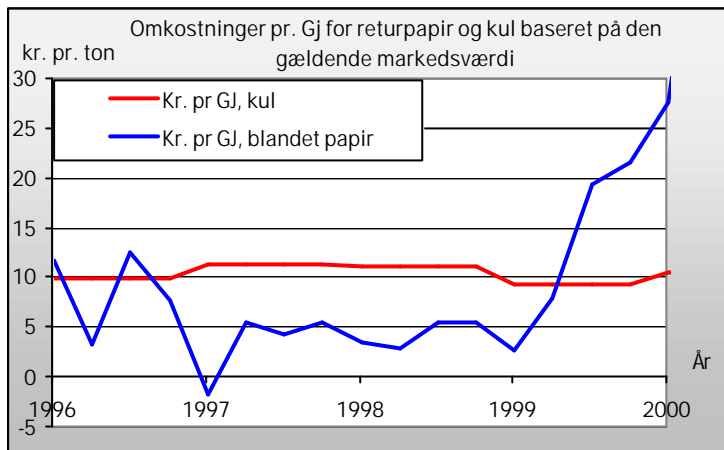
En del kemiske stoffer og slam fra fabrikationen af papirmasse og papir vil nedbrydes ved kemiske processer i rensningsanlæg eller i naturen. Disse nedbrydningsprocesser kræver imidlertid ilt, som tages fra vandet og derfor medvirker til iltsvind. Mængden af stoffer i spildevandet, som nedbrydes på denne måde, karakteriseres ved spildevandets COD (Chemical Oxygen Demand). Iltsvind i vandmiljøer påvirker trivslen hos fisk og bunddyr (Boutrup et al. 2001). Udledning af N- og P-holdigt spildevand fra papirfabrikkerne forårsager eutrofiering, som kan påvirke kvaliteten af et akvatisk miljøsystem (Boutrup et al. 2001). I forbindelse med udslip til vand, og til en vis grad luft, forekommer mindre mængder tungmetaller (Naturvårdsverket 2001). Det vurderes, at disse udslip til både vand og luft i begge tilfælde kvantitativt er på sporstofsniveau og er af mindre væsentlig betydning. Produktionsaffald til deponi lægger beslag på arealanvendelse, og potentiel mulighed for u hensigtsmæssige udslip til undergrunden kan forekomme (European Commission 2000). Derved medfører en virgin produktion eksternaliteter for udlandet, i form af påvirkninger til nærtliggende vand og jordmiljøer.

Samfundsøkonomisk analyse

En samfundsøkonomisk vurdering kræver, at alle (kvantificerbare) marginale ændringer af et projekt identificeres og opgøres i monetære enheder. Det gælder såvel direkte som indirekte afledte miljøkonsekvenser. Det er grundlæggende uproblematisk at opgøre et projekts direkte økonomiske konsekvenser, eftersom de opstår i umiddelbar forlængelse af projektets gennemførelse. Det kan være enten i form af en ændring i den udbudte godemængde, -kvalitet eller -pris. Problemet opstår, når der ikke eksisterer et marked, hvilket ofte er tilfældet for de direkte miljømæssige konsekvenser. Her er det nødvendigt først at afdække de marginale ændringer og derefter forsøge at værdi-/prissætte dem. Hvor de direkte konsekvenser, både økonomiske og miljømæssige, er relativt enkle at identificere, er de indirekte konsekvenser noget vanskeligere at håndtere. Det gælder bl.a. undgåede miljøkonsekvenser, når ressourcer trækkes bort fra anden anvendelse, eller miljøkonsekvenser der opstår, når projektet giver anledning til øget ressourceanvendelse i et erhverv, der leverer input til selve projektet. Sammenlignet med de direkte effekter, er de indirekte betydeligt vanskeligere at klarlægge, og udgør som regel en mindre del af de samlede konsekvenser sammenlignet med de direkte effekter (Møller et al. 2000). I denne analyse fokuseres der derfor på de direkte miljøkonsekvenser. Det gælder emissioner til luft af CO₂, SO₂ og NO_x, hvor der endvidere findes fornuftige værdiestimater for skadevirkning, der har været anvendt i lignende danske analyser.

Pris pr. energienhed for blandet papir og kul

De økonomiske beregninger vil baseres på en omlægning af returpapir, svarende til 5% af de årligt indsamlede mængder i perioden 1996-2000. For de 5 år svarer det til en årlig mængde på mellem 30.000 og 35.000 ton. I beregningerne antages det, at energiudnyttelse vil fortrænge fyring af kul. For at illustrere hvorvidt afbrænding er et reelt alternativ, kan prisen pr. energienhed opgøres for henholdsvis blandet papir og kul. På baggrund af de kvartalsvise priser for blandet papir opgivet af Miljøstyrelsen, samt den årlige markedspris for kul, opgivet af Energistyrelsen, kan omkostningen pr. energienhed illustreres som vist i figur 5.



Figur 5. Pris for kul og blandet papir pr. GJ (Hansen 2002; Miljøstyrelsen 2002).

Som det fremgår af figuren, har priserne pr. GJ for blandet papir befundet sig under energiprisen for kul i perioden 1996 til 1999. For år 2000 sker en betydelig ændring i markedsprisen for blandet papir. Her vil det være væsentligt dyrere for samfundet at anvende papir som brændselskilde til erstatning for kul, vel at mærke *uden* hensyntagen til eksternaliteterne.

Analysen gennemfører som nævnt beregninger for en marginal mængde papir, hvormed det antages, at priserne forbliver uændrede. Nyttiggøres en (betydelig) større mængde returpapir, kan ændringen i økonomisk forstand ikke længere betragtes som marginal, men derimod som en decideret strukturændring. Herved kan de relative priser ikke længere antages at være upåvirkede, da *hele* samfundets ressourceallokering ændres og dermed også de relative priser. Det vil kræve en generel ligevægtsmodel at fastlægge de samfundsøkonomiske konsekvenser af sådanne ændringer. En ønskværdig opgave, men praktisk umulig inden for rammerne af nærværende analyse. Med den begrundelse betragtes kun en marginal ændring, således at de relative priser i samfundet ikke ændres. Vil der på et tidspunkt komme en større efterspørgsel på returpapir til energiudnyttelse, vil prisen alt andet lige øges, og andre former for CO₂-neutralt brændsel kan substituere returpapir. Her sørger markedet for en optimering ved at allokere ressourcerne hen, således at det marginale substitutionsforhold svarer til prisforholdet mellem de tilgængelige brændselstyper.

Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut (SJFI) har gennemført beregninger for de langsigtede biomasseressourcer til energiformål. I rapporten står anført, at de planlagte mængder af biomasse i energiforsyningen i løbet af det næste tiår vil

overstige den forventede mængde overskudsbiomasse (halm), der produceres i landbruget. Såfremt målsætningerne i energihandlingsplanen skal opfyldes, vil det være nødvendigt at producere afgrøder direkte til energiformål (Gylling et al. 2001). Her finder SJFI, at den gennemsnitlige pris for energiafgrøder ligger i størrelsesordenen 35-38 kr. pr. GJ. Kunne blandet papir anvendes til energiudnyttelse, ville prisen pr. GJ periodevis være væsentligt lavere (under 10 kr. pr. GJ) og derved billigere for energisektoren at erhverve CO₂-neutral brændsel på.

Som anskueliggjort i figur 5 vurderes energiudnyttelse af blandet papir at være en realistisk mulighed for samfundet til at opnå en bedre udnyttelse af de tilgængelige ressourcer. Her er dog ikke medtaget afledte effekter på miljøet i form af eksternaliteter.

Eksternaliteter

En sektors aktiviteter fører til produktion af en række markedsomsatte goder. Samtidig kan produktionen resultere i eksternaliteter, der påvirker samfundet negativt. Det kan eksempelvis være påvirkninger af luftmiljøet og det menneskelige helbred ved udledning af CO₂, SO₂ og NO_x. Eksternaliteterne er ikke prissat og omsættes ikke på et marked, men indvirker alligevel på velfærden i samfundet. Når prisen på eksternaliteterne ikke inkluderes, opstår en inefficent allokering, da markedet ikke afspejler de samfundsmæssige omkostninger ved udnyttelsen af ressourcerne. Produktionen uden hensyntagen til negative eksternaliteter vil derfor føre til en forringelse af samfundets velfærd (Hanley et al. 1997).

Integration af miljø og økonomi kan ske ved at fastsætte værdien af eksternaliteterne ud fra monetære evalueringsmetoder. Herigennem estimeres den værdi, som samfundet oplever ved ændret anvendelse af ressourcerne. Det er muligt at foretage en monetær evaluering af de marginale ændringer ud fra henholdsvis *værdisætnings- og prissætningsmetoder*. Prissætningsmetoderne anvender observerbare markedspriser til estimering af værdien af en miljøændring ud fra en omkostningsbetragtning. Her eksisterer ingen direkte sammenhæng mellem det enkelte individs nytte og omkostningerne knyttet til miljøændringen. I kontrast til prissætning står værdisætning, som afspejler den direkte nytteændring som følge af en kvalitets- eller mængdeændring i miljøet. En korrekt velfærdsændring i samfundet opgøres ved anvendelse af værdisætning. Prissætningsmetoder anvendes alligevel i udbredt grad, eftersom de er betydeligt mindre ressourcekrævende at anvende end værdisætningsmetoder. Der henvises til (Freeman 1993) og (Bateman 1994) for en nærmere udredning af værdi- og prissætningsmetoderne.

CO₂ tillægges en betydelig del af skylden for igangværende og kommende klimaændringer. Udledning af SO₂ og NO_x er forbundet med sundhedsskadelige virkninger, der kan give anledning til øget risiko for sygdom eller i yderste konsekvens være livstruende. For såvel dødelighed og sygelighed svarer den samfundsøkonomiske værdi af en ændring i helbredsstatus til ændringen i sandsynligheden for en tidligere død eller at blive syg for det enkelte individ i samfundet. Ifølge Freeman (1993) bør en reduktion i sandsynligheden for at blive syg eller dø for tidligt, værdisættes som hvad et individ er villig til at betale for at opnå reduktionen - eller er villig til at acceptere i kompensation for at give afkald på reduktionen.

Værdiestimater af skadevirkninger

Emissionerne af CO₂, SO₂, NO_x kan omsættes til økonomiske værdier på baggrund af de nævnte monetære evalueringsmetoder. Der er udført relativt mange undersøgelser af miljøforbedringer på luftområdet i Danmark og på internationalt niveau. Ifølge Finansministeriet er luftforureningsområdet godt belyst og nærmer sig en dækkende beskrivelse (Finansministeriet et al. 2001b). Værdierne af skadevirkningerne fra CO₂, SO₂ og NO_x repræsenterer i overvejende grad effekten på befolkningens helbred, men skader på bygninger, plantevækst m.m. er også inkluderet (Finansministeriet et al. 2001b). Kvantificering og prissætning af andre miljøeffekter end dem, der er relateret til luftforurening, har ikke været mulig inden for rammerne af nærværende analyse. Det skyldes, at områderne langt fra er afdækket på samme tilfredsstillende måde, som tilfældet er ved luftforurening og derfor vil kræve omfattende undersøgelser. Opgørelse af miljøomkostningerne afgrænser sig således til CO₂, SO₂, NO_x, der må betragtes som væsentlige effekter ved energifremstilling fra afbrænding af diverse brændsler.

Finansministeriet henviser til *ExternE*-projektet, gennemført under EU-kommisionen. Her er skadevirkningerne ved udslip til luften netop estimeret for de klassiske stoffer CO₂, SO₂ og NO_x. Tabel 12 gengiver de samfundsøkonomiske miljøomkostninger ved udslip af CO₂, SO₂ og NO_x til luften.

Tabel 12. Miljøomkostningerne ved emissioner af CO₂, SO₂ og NO_x (Finansministeriet et al. 2001a).

	<i>El/fjernvarmeproduktion</i>	<i>Individuel opvarmning</i>	<i>Transport</i>
CO ₂ , kr. pr. kg	0,01 (= 45-260 kr. pr ton)	0,01	0,01
SO ₂ , kr. pr. kg	34-35	34	44-77
NO _x , kr. pr. kg	29-38	34	87-93

Der vil i nærværende økonomiske vurdering blive anvendt estimater svarende til skadevirkningerne fra el- og varmeproduktionen, da afbrænding af returpapir og kul falder inden for denne kategori.

Ifølge Finansministeriet er værdiestimerne fra skadevirkningen af CO₂ forbundet med stor usikkerhed, da der er tale om globale virkninger med meget lang tidshorizont. Som følge af usikkerheden anvender Finansministeriet henholdsvis 45 og 260 kr. pr. ton CO₂. Estimatet er i overensstemmelse med, hvad skyggeprisen for reduktioner i Danmark estimeres til. Danmark har hidtil satset på vindmøller i bestræbelserne på CO₂-reduktioner. Her anvender Det Økonomiske Råd en pris på 204 kr. pr ton, mens Energistyrelsen regner sig frem til 243 kr. pr. ton (Det Økonomiske Råd 2002; Energistyrelsen 2001). Ud fra en konservativ betragtning er det i nærværende rapport valgt som udgangspunkt at anvende den høje skadevirkning fra *ExternE*-projektet svarende til 260 kr. Dette estimat anvendes tillige i den samfundsøkonomiske analyse af plastflasker/dunkeaffald fra husholdninger (Strandmark et al. 2002). I følsomhedsanalysen vil der blive udført beregninger, hvor CO₂ tillægges en værdi svarende til den forventede pris ved køb af emissionsreduktioner i udlandet⁹. Her kan udledningen af et ton CO₂ reduceres ved omkostninger på 25 kr.

De fremsatte værdiestimer fra skadevirkningen af SO₂ og NO_x af (Finansministeriet et al. 2001a) vil, som CO₂, indgå i de økonomiske beregninger i nærværende rapport på baggrund af værdiestimer fra *ExternE*-projektet. Også her eksisterer en vis usikkerhed for værdiestimerne. Ifølge Finansministeriet er en nøgleparameter i beregningerne værdien af "tabt levetid" værdisat ved den betingede værdisætningsmetode. Finansministeriet henviser til amerikanske beregninger, der viser værdier, der mindsker skadevirkningen til en tredjedel af værdien i *ExternE*-projektet. Omvendt viser beregninger foretaget af Risø, at prisen stiger tre gange ved anvendelse af værdien for "statistisk liv". Som udgangspunkt anvendes de angivne værdier fra Finansministeriet baseret på *ExternE*-projektet. Det svarer til en værdi af 30 kr. pr. reduceret kg SO₂ og 35 kr. pr. reduceret kg NO_x, jf. tabel 12. Også værdierne for SO₂ og NO_x vil blive behandlet i følsomhedsanalysen.

Med ovenstående antagelser og forudsætninger, vil de egentlige opgørelser af fordele og omkostninger ved afbrænding af returpapir blive foretaget i de efterfølgende afsnit.

⁹ Det gælder JI- og CDM-projekter som falder ind under de fleksible mekanismer i Kyoto-Protokollen.

Negative følgerkninger

Der vil først blive redegjort for den negative effekt af ændret anvendelse af returpapir. Det gælder emissioner af CO₂, SO₂ og NO_x ved afbrænding af papir til energiudnyttelse. Desuden vil omkostninger forbundet med køb af blandet papir til brændsel samt investeringer på energianlæg, der indgår som samfundsøkonomiske omkostninger.

Omkostninger til køb af papir til brændsel

Benyttes blandet papir som brændselskilde, indgår omkostningerne til køb. Blandet papir antages at have en samfundsøkonomisk værdi svarende til den gældende markedspris. Miljøstyrelsen har opgjort prisen for blandet papir baseret på oplysninger fra EUWID (Miljøstyrelsen 2002). De angivne priser i perioden 1996 til 2000 fremskrives til faste priser for år 2000 ved anvendelse af engrosprisindekset. Tabel 13 angiver de samfundsøkonomiske omkostninger, som samfundet skal afholde, hvis de angivne mængder blandet papir skal benyttes som brændselskilde.

Tabel 13. omkostninger ved at anvende blandet papir som brændselskilde (2000-priser).

	1996	1997	1998	1999	2000
blandet papir, pris pr. ton	- 129	- 48	- 63	- 191	- 616
Papir til afbrænding, ton	30.750	30.350	32.800	35.550	35.500
Omkostninger til køb af papir	-3.980.000	-1.450.000	-2.050.000	-6.800.000	-21.860.000

Som det fremgår af tabellen, er der betydeligt højere omkostninger ved at købe papir i år 2000 (hvor prisen var høj), sammenlignet med perioden 1996 til 1999.

Emissioner ved afbrænding af papir

Fra et samfundsøkonomisk perspektiv betyder afbrænding af returpapir udledning af de skadelige stoffer CO₂, SO₂ og NO_x. Afbrænding af papir er imidlertid CO₂-neutralt, (jf. tidligere diskussion i afsnittet *Miljøpåvirkninger*), og tillægges derfor en samfundsøkonomisk værdi på nul. Foruden frigivelse af CO₂ forekommer emissioner af SO₂ og NO_x, der ikke betragtes som neutrale. Tabel 14 opsummerer emissionerne, baseret på data i afsnittet *Miljøpåvirkninger*, samt de tilhørende økonomiske værdier der er redegjort for i afsnittet *Værdiestimater af skadevirkninger*.

Tabel 14. Emissioner ved afbrænding af returpapir.

	<i>Enhed</i>	<i>Emission</i>	<i>Miljøomkostninger</i>
		<i>papir</i>	<i>kr. pr. ton</i>
CO ₂	kg/ton	0	- 260
SO ₂	kg/ton	0,38	- 30.000
NO _x	kg/ton	1,96	- 35.000

Med den betragtede mængde blandet papir til energiudnyttelse (5%) vil afbrænding medføre samfundsøkonomiske miljøomkostninger, som følge af stofferne SO₂ og NO_x, som angivet i nedenstående tabel.

Tabel 15. Samfundsøkonomiske miljøomkostninger af emissioner ved afbrænding af returpapir.

	1996	1997	1998	1999	2000
Papir til afbrænding, ton	30.750	30.350	32.800	35.550	35.500
CO ₂ , kr.	0	0	0	0	0
SO ₂ , kr.	-350.000	-340.000	-370.000	-400.000	-400.000
NO _x , kr.	-2.110.000	-2.090.000	-2.250.000	-2.440.000	-2.440.000
Miljøomkostninger, blandet papir	-2.460.000	-2.430.000	-2.620.000	-2.850.000	-2.840.000

Samlet betyder emissioner af SO₂ og NO_x negative eksternaliteter for samfundet ved afbrænding af returpapir svarende til en årlig værdi på mellem 2,4 og 2,8 mio. kr.

Investeringsomkostninger

Danmark har ikke erfaringer med nyttiggørelse af rene fraktioner returpapir ved afbrænding. Der er dog næppe tvivl om, at det kan kræve visse ændringer i produktionsapparatet, hvis returpapir skal kunne anvendes som brændselskilde. Disse investeringer skal indgå som en samfundsmæssig omkostning i opgørelsen. Imidlertid har det været usædvanlig vanskeligt at indhente oplysninger og dokumentation for størrelsesordenen af de omstillingsomkostninger der vil forekomme på eksisterende kraftvarmeanlæg hvis de skal afbrænde papir. På baggrund af samtaler med personer i branchen vil størrelsen af investeringen alligevel forsøges klarlagt.

I det fremsatte basisscenarium antages papir at kunne anvendes periodevis til energiudnyttelse. Dvs. at et eksisterende anlæg skal kunne anvendes for en kortere eller længere periode til afbrænding af papir. Grundet papirs fysiske karakter antages det at være mest hensigtsmæssigt med investeringsomkostninger på et eksisterende biomasse/samkøringsanlæg, der i forvejen brænder biomasse. På baggrund af oplysninger fra branchen anslås det, at en ombygning af et eksisterende

anlæg vil kræve omkostninger i størrelsesordenen 5-15 mio. kr. , forudsat at det er rimeligt velholdt maskineri. Omkostningerne kan blive højere, såfremt der skal investeres i en ny rist (15-20 mio. kr.), og en ny "overheder" (7-8 mio. kr.). Investering i rist og "overheder" er *ikke* påtvunget, men grundet usikkerheden vælges det at medtage disse ekstraomkostninger. Investeringsomkostninger antages at ske på et mellemstort anlæg, der både producerer el og varme.

Samlet betyder det investeringsomkostninger på ca. 35 mio. kr. Med valg af en rentefod på 7% og 20 terminer, kan den årlige ydelse beregnes som:

$$k_0 \times \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \quad , \text{ hvor } i=7\%, n=20 \text{ og } k_0 = 35 \text{ mio. kr.}$$

En investering på 35 mio. kr. resulterer i en årlig omkostning på ca. 3,3 mio. kr.

Hvad angår driftsomkostningerne har det også her været særdeles vanskeligt at fremskaffe informationer. Energistyrelsen har opgjort teknologidata for el- og varmeproduktion for diverse anlæg. For kulfyrede kraftvarmeværker er der regnet med variable omkostninger på 30 kr. pr. MWh produceret el. Tilsvarende er der regnet med omkostninger ved produktion af fjernvarme på halmfyrede kedler og på træflisfyrede kedler på 30 kr. pr. MWh i fjernvarmeproduktion (Nielsen 2002). Med identiske omkostninger pr. energienhed vil der ikke ske ændringer i driftsomkostningerne, da den samlede produktion af energi ikke ændres.

Positive følgevirkninger

Med ovenstående omkostningsbetingede konsekvenser for samfundet, vil følgende afsnit opgøre de positive følgevirkninger ved afbrænding af papir. Det gælder mindre emissioner, samt sparede udgifter til køb af kul, når denne brændselskilde fortrænges af returpapir.

Værdi af kul der fortrænges

Afbrænding af papir til energiudnyttelse antages at fortrænge fyring af kul.

For at vurdere værdien af den fortrængte mængde kul, er det nødvendigt at tage udgangspunkt i brændværdierne. Ifølge Miljøstyrelsen besidder blandet papir en brændværdi på 15,1 GJ pr. ton og kul 25 GJ pr. ton (Dalager et al. 1995b).

Sammenholdt med den mængde papir der tænkes anvendt til energiudnyttelse, kan mængden af kul, der fortrænges, beregnes som mængden af papir til afbrænding multipliceret med forholdet af brændværdierne. Markedsprisen for kul er indhentet fra Energistyrelsen (Hansen 2002). Med ovenstående data kan værdien af den fortrængte mængde kul udregnes som angivet i nedenstående tabel.

Tabel 16. Samfundsøkonomisk værdi af den fortrængte mængde kul.

	1996	1997	1998	1999	2000
Papir til afbrænding, ton	30.750	30.350	32.800	35.550	35.500
Brændværdi for papir, GJ pr. ton.	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
Brændværdi for kul, GJ pr. ton.	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Kulmængde der fortrænges	18.573	18.331	19.811	21.472	21.442
kul, pris pr. ton	244	275	273	225	258
Gevinst ved sparede udgifter til kul	4.530.000	5.040.000	5.400.000	4.820.000	5.530.000

Ved forbrænding af den betragtede mængde returpapir, kunne samfundet spare udgifter til køb af kul svarende til en årlig værdi mellem 4,5 og 5,4 mio. kr. og stadig opretholde den samme energiproduktion.

Sparede emissioner ved fyring af kul

Den alternative anvendelse i form af afbrænding medfører ikke kun en reduceret udgift i indkøb af kul, men også sparede emissioner. I bilag C er opgjort udledningen af stoffer ved fyring af fossile brændsler fra kraftvarmeproducerende anlæg (Elkraft System 2002; Eltra 2002). Kombineret med de økonomiske værdier fra (Finansministeriet et al. 2001a), kan den økonomiske værdi af emissionerne ved fyring af kul fastlægges, jf. nedenstående tabeller.

Tabel 17. Emissioner ved afbrænding af kul.

<i>Emission</i>	Enhed	<i>Emission, kul</i>	<i>Økonomisk værdi, kr. pr. ton</i>
CO ₂	kg/ton	2.375	260
SO ₂	kg/ton	0,30	30.000
NO _x	kg/ton	3,27	35.000

Tabel 18. Samfundsøkonomisk miljøværdier af sparede emissioner ved fortrængt afbrænding af kul.

	1996	1997	1998	1999	2000
Reduceret mængde kul, ton	18.573	18.331	19.811	21.472	21.442
CO ₂ , kr.	11.470.000	11.320.000	12.230.000	13.260.000	13.240.000
SO ₂ , kr.	170.000	170.000	180.000	190.000	190.000
NO _x , kr.	2.130.000	2.100.000	2.270.000	2.460.000	2.460.000
Værdi af sparede emissioner fra kul, kr.	13.760.000	13.580.000	14.680.000	15.910.000	15.890.000

Afbrænding af returpapir vil betyde væsentlige samfundsøkonomiske besparelser i udledningen af CO₂, SO₂ og NO_x fra den reducerede fyring af kul. Med anvendelse af Finansministeriets priser opnår samfundet en reduktion af emissioner svarende til en årlig værdi mellem 13,6 og 15,9 mio. kr.

Sammenlignes miljøværdierne ved afbrænding af henholdsvis blandet papir (tabel 15) og kul (tabel 18) fremgår det, at der ikke er stor forskel i de samlede værdier for SO₂ og NO_x. Derimod er værdien for CO₂ væsentlig anderledes grundet den neutrale andel ved afbrænding af papir. En samlet opgørelse af de ændrede emissioner fra blandet papir og kul, resulterer i årlige miljøgevinster for samfundet på 11-13 mio. kr.

Samlet økonomisk vurdering af papir til afbrænding

En ændret anvendelse af returpapir har en række konsekvenser, der som følge af en ændret ressourceallokering påvirker samfundets velfærd. I de foregående afsnit er de enkelte konsekvenser blevet identificeret og ændringerne opgjort i monetære enheder. Tabel 19 sammenfatter værdierne af de betragtede mængder blandet papir til energiudnyttelse.

Tabel 19. Samfundsøkonomisk gevinst ved afbrænding af returpapir, mio. kr. (2000-priser).

	1996	1997	1998	1999	2000
Værdi af blandet papir til genbrug	-4,0	-1,5	-2,1	-6,8	-21,9
Miljøomkostninger ved afbrænding af returpapir	-2,5	-2,4	-2,6	-2,9	-2,8
Investeringsomkostninger	-3,6	-3,5	-3,5	-3,5	-3,3
værdi af den fortrængte mængde kul	4,5	5,0	5,4	4,8	5,5
Sparede miljøomkostninger ved afbrænding af kul	13,8	13,6	14,7	15,9	15,9
Samfundsøkonomisk gevinst	8,3	11,3	11,9	7,6	-6,6

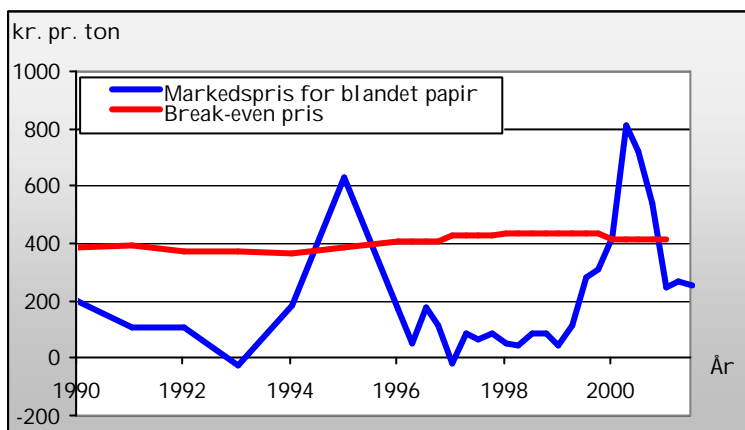
Med de fremsatte antagelser vil afbrænding af blandet papir til energiudnyttelse, resultere i potentielle økonomiske gevinster for samfundet på mellem 7,6 og 11,9 mio. kr. Derimod fremkommer et samfundsøkonomiske tab i år 2000. Det skyldes, at prisen for blandet papir var usædvanlig høj i år 2000, hvormed de afledte miljøfordele ikke står mål med omkostningerne af papir som brændselsinput. Som nævnt i afsnittet *Scenarium* har prisen for blandet papir været relativ lav, oftest under 200 kr. pr. ton, jf. figur 2. Den særdeles høje pris i år 2000 vurderes derfor at være et særtilfælde. Anvendelse af papir vil kræve investeringsomkostninger på ca. 3,5 mio. kr. årligt, selv når papir ikke anvendes til energiudnyttelse. De beregnede årlige samfundsmæssige gevinster er dog høje nok til at opveje enkelte år, hvor papir ikke anvendes som brændsel, men hvor investeringerne alligevel indgår som omkostning. Afskrives hele investeringen i den betragtede periode 1996-2000, vil det stadig resultere i en samfundsøkonomisk gevinst. Der gøres opmærksom på at investeringsomkostningen er vurderet ud fra en konservativ betragtning, da disse ikke nødvendigvis er påkrævet.

Af de beregnede årlige benefits udgør miljøfordelene i form af sparede emissioner en betydelig del. Modsat afbrænding af kul, betragtes afbrænding af papir som CO₂-neutral. Med de anvendte værdiestimater fra skadevirkninger af CO₂, SO₂ og NO_x, og med korrektion for brændværdier, medfører afbrænding af kul miljøomkostninger på 741 kr. pr. ton, mens blandet papir kun bidrager med miljøomkostninger på 80 kr. pr. ton¹⁰. Med den betragtede mængde papir, resulterer det i samfundsmæssige miljøbenefits mellem 11,2 og 13,1 mio. kr. årligt.

I relation til Danmarks forpligtelse i henhold til Kyoto-protokollen vil fortrængning af den betragtede mængde kul betyde en reduceret udledning af CO₂ på ca. 50.000 ton årligt. Sammenlignet med andre potentielle reduktionsmuligheder fremsat af Energistyrelsen (Energistyrelsen 2001) er reduktionen forholdsvis beskedent. Det skal dog ses i lyset af, at den betragtede mængde blandet papir er marginal. Det er derfor en nærliggende tanke, at anvende en større mængde returpapir til energiudnyttelse når det er forbundet med samfundsøkonomiske gevinster. Er ændringerne betydelige, kan det imidlertid medføre en strukturændring, hvormed de relative priser ikke længere kan betragtes som upåvirkede. Konsekvenserne heraf må da klarlægges gennem en ny analyse.

Prisen for blandet papir er en afgørende faktor for rentabiliteten. Et centralt spørgsmål er derfor: Ved hvilken pris vil afbrænding af blandet papir resultere i en samfundsøkonomisk værdi på nul (*break-even*)? Når prisen er højere end *break-even* værdien, er det mere fordelagtigt for samfundet at bruge returpapir til genbrug end til energiudnyttelse. *Break-even* prisen beregnes ved at fratække værdien af blandet papir til genbrug fra den samfundsøkonomiske gevinst, og dividere med den anvendte mængde papir. For at få et større historisk perspektiv af potentialet for energiudnyttelse af returpapir, er *break-even* prisen sammenholdt med den gældende markedspris for perioden 1990-2001, jf. nedenstående figur.

¹⁰ Fremkommet ved at dividere de årlige miljøomkostninger for henholdsvis blandet papir og kul med de respektive mængder.



Figur 6. Sammenligning af markedsprisen for blandet papir og break-even prisen.

Resultatet bliver, at når prisen er under 400 kr. pr. ton, vil papir være samfundsmæssigt fordelagtigt at anvende som brændselskilde. I den pris er værdien af reducerede udledninger af CO₂, SO₂ og NO_x indeholdt. Da værdien af papir til genanvendelse gennemgående har været væsentligt lavere end 400 kr. pr. ton, ville der samfundsmæssigt have været en gevinst ved afbrænding af papir i kraft af de sparede emissioner af CO₂, SO₂ og NO_x.

Følsomhedsberegninger

Som nævnt i kapitlet *Samfundsmæssig økonomisk analyse* er værdiestimerne af skadevirkningerne fra CO₂, SO₂ og NO_x behæftet med en vis usikkerhed. I beregningerne er anvendt værdiestimer af skadevirkningerne fra *ExternE*-projektet, som Finansministeriet refererer til. For at tage hensyn til usikkerheden i denne analyse gennemføres 2 beregninger for værdiestimerne af skadevirkningerne, hvor værdierne er henholdsvis lavere og højere.

Lave værdiestimer af skadevirkninger

De alternative omkostninger der fortrænger CO₂ kunne eksempelvis fremkomme ved reduktioner i udlandet vha. Joint Implementation (JI) og Clean Development Mechanism (CDM) projekter. For en nærmere forklaring af JI og CDM, henvises til bilag E. Holland har været blandt pionererne, hvad angår implementering af CO₂-reducerende projekter i udlandet. De hollandske indkøb af emissionsreduktioner foregår gennem carboncredit.nl, som er et program, der inviterer virksomheder/projektmagere til at sælge CO₂-kvoter. I øjeblikket er prisen på carboncredit.nl mellem 15 og 40 kr. pr. tons CO₂. Også Verdensbanken har fokus på CO₂, og oprettede PCF (Prototype Carbon Fund) med det formål at skabe reduktioner i udledning af CO₂ bl.a. inden for rammerne af JI-projekter og CDM-projekter. PCF har allerede afsluttet projekter i bl.a. Letland, Chile og Uganda. PCF køber p.t. CO₂ for 25-

30 kr. pr. ton. Med de angivne prisestimer af skadevirkningerne fra Verdensbanken og de hollandske erfaringer anvendes værdien i den lave ende af intervallet, svarende til 25 kr. pr. ton, i beregningerne for reduktion af CO₂.

Også værdiestimer af skadevirkningerne fra SO₂ og NO_x er forbundet med usikkerhed. Finansministeriet refererer til amerikanske undersøgelser, der mindsker skadevirkningen til en tredjedel af værdien i *ExternE*-projektet. Anvendes de amerikanske resultater bliver værdien for SO₂ reduceret til 12 kr. pr. kg og 10 kr. pr. kg NO_x.

I basisscenariet androg de årlige samfundsøkonomiske gevinster mellem 7,6 og 11,9 mio. kr. i perioden 1996 til 1999. Ændres værdiestimer af skadevirkningerne fra CO₂, SO₂ og NO_x som beskrevet ovenfor, påvirkes det årlige samfundsmæssige overskud markant, jf. tabel 20. Kun i 1997 og 1998 vil det være fordelagtigt at nyttiggøre blandet papir til energi ved afbrænding, dog med beskedne gevinster. Øvrige år medfører samfundsøkonomiske tab. De finansielle værdier i form af ændrede udgifter til køb af brændsel og investeringer påvirkes ikke.

Tabel 20. Samfundsøkonomisk gevinst ved afbrænding af returpapir, mio. kr. (2000-priser).
Lave værdiestimer af skadevirkninger.

	1996	1997	1998	1999	2000
Værdi af blandet papir til genbrug	-4,0	-1,5	-2,1	-6,8	-21,9
Miljøomkostninger ved afbrænding af returpapir	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0
Investeringsomkostninger	-3,6	-3,5	-3,5	-3,5	-3,3
værdi af den fortrængte mængde kul	4,5	5,0	5,4	4,8	5,5
Sparede miljøomkostninger ved afbrænding af kul	1,9	1,9	2,0	2,2	2,2
Samfundsøkonomisk gevinst	-2,0	1,1	1,0	-4,3	-18,4

Det er således tvivlsomt, om det fra et samfundsøkonomisk perspektiv kan svare sig at udnytte energi ved afbrænding af returpapir, når værdiestimerne er særdeles lave for CO₂, SO₂ og NO_x. *Break-even* prisen for, hvor det er samfundsmæssigt fordelagtigt at anvende papir til energiudnyttelse, beregnes til under 100 kr. pr. ton, altså en markedsværdi der er væsentligt lavere end de beregnede 400 kr. pr. ton fra basisscenariet. Som nævnt er der betydelig usikkerhed ved fastsættelse af skadeomkostningerne for CO₂. Netop miljøomkostningerne af CO₂ påvirker i høj grad det endelige resultat. Derfor vil der være nær sammenhæng mellem den værdi man tillægger skadeomkostninger: Jo højere værdi, des tidligere er det fordelagtigt at nyttiggøre blandet papir energimæssigt og dermed fortrænge mere miljøbelastende brændsler, fx kul.

Højere værdiestimater af skadevirkninger

Ovenstående beregninger er baseret på lavere værdiestimater af skadevirkningerne.

Omvendt kan skadevirkningerne tænkes højere end de faktisk anvendte. Den betydelige usikkerhed i beregningerne kan illustreres af spændet i ExternE-projektets beregningsforudsætninger. Følsomhedsberegninger gennemført indenfor ExternE-projektet gav skadeomkostninger i intervallet 150-450 kroner pr. ton CO₂. Ved at anvende værdiestimatet fra skadevirkningen af CO₂ i den øvre grænse af intervallet på 450 kr. pr. ton CO₂, kan der tages højde for usikkerheden.

Værdiestimaterne af skadevirkningerne fra SO₂ og NO_x kan skaleres op med en faktor 3 på baggrund af følsomhedsanalyser i ExternE-projektet. Herved ændres det årlige samfundsmæssige overskud til mellem 16 og 20 mio. kr. i perioden 1996-1999.

Endvidere vil de høje værdiestimater af skadevirkningerne medføre, at der også for år 2000, vil være en (mindre) samfundsøkonomisk gevinst, jf. nedenstående tabel.

Tabel 21. Samfundsøkonomisk gevinst ved afbrænding af returpapir, mio. kr. (2000-priser).
høje værdiestimater af skadevirkninger.

	1996	1997	1998	1999	2000
Værdi af blandet papir til genbrug	-4,0	-1,5	-2,1	-6,8	-21,9
Miljøomkostninger ved afbrænding af returpapir	-7,4	-7,3	-7,9	-8,5	-8,5
Investeringsomkostninger	-3,6	-3,5	-3,5	-3,5	-3,3
værdi af den fortrængte mængde kul	4,5	5,0	5,4	4,8	5,5
Sparede miljøomkostninger ved afbrænding af kul	26,7	26,4	28,5	30,9	30,9
Samfundsøkonomisk gevinst	16,3	19,2	20,5	16,9	2,7

Vurderes de høje værdiestimater af skadevirkningerne at være dækkende for de samfundsmæssige konsekvenser, vil det være yderst fordelagtigt at anvende papir som brændselskilde. Den pris, hvor samfundet med fordel kan anvende papir som brændsel, beregnes til små 700 kr. pr. ton mod tidligere 400 kr. pr. ton.

Overordnet er resultatet robust overfor rimelige ændringer i værdiestimaterne af skadevirkningerne for CO₂, SO₂ og NO_x. Kun når CO₂ tillægges ekstremt lave værdier, svarende til omkostningerne ved reduktion gennem JI og CDM projekter, skal prisen for blandet papir være noget under 100 kr. pr. ton, før det er samfundsmæssigt fordelagtigt at nyttiggøre papir i form af energiudnyttelse.

Øvrige skadevirkninger

I analysen kvantificeres miljøomkostninger af ændret udledning af CO₂, SO₂ og NO_x. Effekterne heraf er centrale når det gælder energiproduktion, men er ikke dækkende for de samlede miljøændringer. Som nævnt i afsnittet *Miljøpåvirkninger*, udledes flere forskellige stoffer ved afbrænding af såvel kul som papir. Det har ikke været muligt at værdisætte disse effekter. Kvantificeringen anses dog for nyttig af to

årsager. For det første er det medvirkende til at give et samlet billede af miljøændringerne ved en løsning frem for en anden. Kvantificeringen er endvidere nødvendig for at klarlægge ændringerne i de marginale skadevirkninger. Disse kan anvendes i fremtidige samfundsøkonomiske analyser, til at give et mere dækkende billede af de samlede konsekvenser.

K o n k l u s i o n

Affaldsbekendtgørelsen pålægger kommunerne at indsamle papir for herefter at anvise de indsamlede mængder til genanvendelse. Afbrænding af papir er derfor ikke tilladt i dag. Formålet med nærværende samfundsøkonomiske analyse har været at vurdere, om nyttiggørelse af returpapir i form af energiudnyttelse ved afbrænding kunne være samfundsmæssigt fordelagtigt, når det antages at fortrænge fyring af kul. I analysen er der anlagt en national synsvinkel. De økonomiske udregninger baseres på afbrænding af 5% af de årligt indsamlede mængder returpapir i perioden 1996-2000. I analysen er der redegjort for de direkte økonomiske og miljømæssige konsekvenser ved afbrænding af henholdsvis kul og papir.

I det gennemførte scenarium viser beregningerne, at afbrænding af *blandet papir* er fordelagtigt, når prisen er under 400 kr. pr. ton. I perioden 1996 til 1999 kunne samfundet have nyttiggjort *blandet papir* til energi, hvilket ville have resulteret i årlige samfundsmæssige gevinster på mellem 8 og 12 mio. kr. Miljøfordelene i form af reducerede emissioner, udgør hovedparten af de samlede gevinster. Årligt ville samfundet kunne have opnået reducerede udledning af CO₂ SO₂ og NO_x svarende til en økonomisk værdi på mellem 11 og 13 mio. kr.

Det vurderes, at fra et samfundsøkonomisk perspektiv kan nyttiggørelse af returpapir, i form af energiproduktion ved afbrænding, være fordelagtigt. Energiudnyttelse af returpapir kan bidrage til at opnå en bedre udnyttelse af samfundets ressourcer, til fordel for både økonomi og miljø. Set i det lys er en juridisk hindring mod afbrænding af returpapir uhensigtsmæssig.

T a k t i l

Rapporten *Nyttiggørelse af returpapir – en samfundsøkonomisk analyse* er udarbejdet af Mads Lyngby Petersen (projektansvarlig) og Henrik Thormod Andersen fra Institut for Miljøvurdering. I arbejdet med rapporten har en lang række personer bidraget med information, råd og vejledning. Projektmedarbejderne retter en tak stor til Alex Dubgaard, Sektion for Økonomi, Skov og Landskab på Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole for god og konstruktiv kritik ved gennemlæsning af rapporten. Forfatterne af rapporten bærer dog alene ansvaret for rapportens resultater og konklusioner.

København, 8. december 2002

References

- Aalborg Portland A/S 2002: *Miljøredegørelse og grønt regnskab*. Hegnet IDD.Aalborg
- Bateman, I. 1994: *Research methods for valuing environmental benefits*. In: Dubgaard et al. (Eds.): *Economic valuation of benefits from countryside stewardship*. Wissenschaftsverlag.Kiel
- Boutrup, S., Svendsen, L. M., van der Bijl, L., Andersen, J. M., Bøgestrand, J., Grant, R., Ellermann, T., Henriksen, P., Jensen, J. P., Stockmarr, J., Laursen, K. D. 2001: *Vandmiljø 2001. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning*. Faglig rapport fra DMU 379. Silkeborg Bogtryk.Silkeborg
- CemMiljø A/S 2002: *Grønt regnskab for CemMiljø A/S*. Hegnet IDD.Aalborg. www.aalborg-portland.dk
- Christina Bang 2002: *DanFiber A/S*. cbn@danfiber.dk
- Dalager, S., Drabæk, I., Jensen, A. B., Ottosen, L. M., Harreskov, K., Busch, N. J., Holmstrand, H. C., Møller, F. 1995a: *Miljøøkonomi for papir- og kredsløb - Delrapport 2: Bølgepap*. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 29. Miljø- og Energiministeriet.København
- Dalager, S., Jensen, A. B., Drabæk, I., Ottosen, L. M., Harreskov, K., Busch, N. J., Holmstrand, H. C., Møller, F. 1995b: *Miljøøkonomi for papir- og kredsløb - Delrapport 4: Blandet papir*. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 31. Miljø- og Energiministeriet.København
- Det Økonomiske Råd 2002: *Dansk Økonomi. Forår 2002*. Det Økonomiske Råd.
- Elkraft System 2002: *Miljøberetning 2001*Ballerup
- Eltra 2002: *Miljøplan 2002*. Kerteminde Tryk.Kerteminde
- Energistyrelsen 2001: *Omkostninger ved CO2-reduktion for udvalgte tiltag*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2002: *Bruttoenergiforbrug fordelt på brændsler*
- European Commission 2000: *A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste*. European Commission.
- FAO 1996: *European Timber Trends and Prospects: into the 21st Century (ETTS V)*. Geneva Timber and Forest Study Papers (ECE) 11. FN.NY

- Fenger, J. 1994: *Materialer Luftforurening*. Polyteknisk Forlag.
- Fenger, J. & Kilde, N. A. 1994: *Kilder, udslip og forureningsniveauer Luftforurening*. Polyteknisk Forlag.
- Finansministeriet, Erhvervsministeriet, Miljø- og Energiministeriet, Skatteministeriet, Økonomiministeriet 2001a: *Miljøpolitikens økonomiske fordele og omkostninger*. Finansministeriet.
- Finansministeriet, Erhvervsministeriet, Miljø- og Energiministeriet, Skatteministeriet, Økonomiministeriet 2001b: *Miljøpolitikens økonomiske fordele og omkostninger* ISBN: 87-7856-434-4. Schultz. www.fm.dk
- Finnveden, G. & Ekvall, T. 1998: Life-cycle assessment as a decision-support tool -the case of recycling versus incineration of paper. *Resources, conservation and recycling*. 24: 235-256
- Freeman, A. 1993: *The Measurement of Environmental and Resource Values. Theory and Methods*. Resources for the Future, Washington D.C.
- Gylling, M., Abildtrup, J., Nielsen, K., Petersen, S., Varming, S. 2001: *langsigtede biomasseressourcer til energiformål* 125. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. www.foi.dk
- Hanley, N., Shogren, J., White, B. 1997: *Environmental Economics in Theory and Practice*. TJ press.
- Hansen, A. B. 2002: *Udenrigshandels priser på kul*. e-mail: abh@ens.dk. www.ens.dk
- Jerkeman, P. & Remröd, J. 2002: *Forest and the Climate*. Media Express.
- Johnsen, N. 2001a: *Sælger-kundevejledning til udarbejdelse af en produktmiljøprofil Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 10/2001*
- Johnsen, N. 2001b: *Sælger-kundevejledning til udarbejdelse af en produktmiljøprofil Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 10/2001*
- Larsen, P. B., Larsen, J. C., Fenger, J., Jensen, S. S. 1997: *Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik* Miljøprojekt nr. 352. Miljøstyrelsen. København
- Miljø & Energiministeriet 1999: *Regeringens Affaldsplan 1998-2004*. Miljø & Energiministeriet.
- Miljø- og Energiministeriet 1999a: *Natur- og Miljøpolitisk Redegørelse 1999*. Miljø- og Energiministeriet.
- Miljø- og Energiministeriet 1999b: *Regeringens Affaldsplan 1998-2004*. Miljø- og Energiministeriet.

Miljøstyrelsen 2002: *Statistik for returpapir og -pap 2000*

Møller, F., Andersen, P., Grau, P., Huusom, H., Madsen, T., Nielsen, J., Strandmark, L. 2000: *Samfundsøkonomiske vurderinger af miljøprojekter*. Danmarks Miljøundersøgelser; Miljøstyrelsen; Skov- og Naturstyrelsen. www.dmu.dk

Mortensen, L. & Hansen, J. B. 1994: *Vegetation og dyreliv Luftforurening*. Polyteknisk Forlag.

Naturvårdsverket 2001: *Skogindustrins utslapp - avfallsmængder och energiforbrukning 2000* 5154. Naturvårdsverket forlag. Stockholm. www.environ.se

Nielsen, M. 2002: *Driftsomkostninger ved biobrændsler*. Energistyrelsen, mni@ens.dk.

Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M. G., Nielsen, V., Zielke U., Kristensen, J. K., Holm-Christensen, B. 1998: *Halm til energiformål*. Trøjborg Bogtryk. Trøjborg

Pedersen, T. & Skov, H. 1994: *Kemi Luftforurening*. Polyteknisk Forlag.

Regeringen 1993: *Biomasseaftale*. Energistyrelsen.

Regeringen 1996: *Energi 21 Regeringens energihandlingsplan 1996*

Regeringen 2002: *Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling. "FÆLLES FREMTID - udvikling i balance"* ISBN 87-7972-187-7. Miljøstyrelsen. www.mst.dk

Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N. 1998: *Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, Inc.

Skovforeningen 2002: *Skovforeningens kritik af papirgenbruget i Danmark* http://www.skovforeningen.dk/nyheder/nyheder_public.asp?newsid=70

Sørensen, G. L. 1999: *Baggrundsdokumentation - Skrive og kopipapir*. Miljøstyrelsen. www.mst.dk/produkt/05021100.htm

Strandmark, L., Jørgensen Kjær, B., Østergaard, L. 2002: *Samfundsøkonomisk analyse af bortskaffelse af plastflaske- og dunkeaffald fra husholdninger*. Miljøprojekt 695. Miljøministeriet. København

B i l a g A

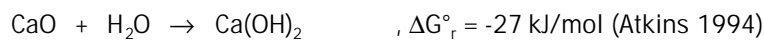
Askemængde og CO₂-kredsløb ved afbrænding af fyldstoffer i papir.

Indeholdet af fyldstoffer i papirprodukter varierer alt afhængig af papirtypen. De følgende beregninger redegør for askemængder og CO₂-kredsløb ved afbrænding af fyldstoffer i papir. Det antages, at kvaliteten "blandet papir" består af 10% fyldstoffer i form af kridt (CaCO₃). Ved afbrænding af 1 ton papir afbrændes dermed 100 kg kridt:

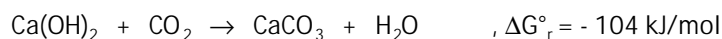
	CaCO ₃ (s)	→	CaO(s) + CO ₂
MW(kg/mol)	0,100		0,056
M (kg)	100		<u>56</u>
n (mol)	1000		1000

$$\Delta G_r^\circ = 131 \text{ kJ/mol (Atkins 1994)}$$

Ud fra termodynamikken kan ses, at det er energikrævende at brænde kridt. Der opnås 56 kg CaO (brændt kalk) ved afbrænding af CaCO₃. Da CO₂(g) er en gas, er CaO(s) hovedbestanddelen af den producerede aske. CaO kan bringes til reaktion med vand, hvormed Ca(OH)₂ dannes:



Den dannede Ca(OH)₂ kan reagere med CO₂ i luften og dermed gendanne kridt:



Dermed er den oprindelige mængde CO₂, som blev frigivet ved forbrænding blevet bundet til calcium igen. Afbrænding af fyldstof, i form af kridt, er derfor at betragte som CO₂-neutralt.

Bilag B

Emissioner ved afbrænding af papir.

Papirs brændværdi er opgjort til 15.1 GJ/ton (Dalager et al. 1995a).

Emissionsværdierne for papir sættes til 0 kg CO₂/GJ; 0,130 kg NO_x/GJ; 0,025 kg SO₂/GJ; 0,032 kg CH₄/GJ og 0,004 kg N₂O/GJ. Afbrænding af papir sidestilles med afbrænding af biomasse, derfor fremkommer ingen CO₂-emission.

Emissionsfaktorerne er baseret på energiindholdsmetoden og sættes til samme størrelsesorden som anvendte emissionsfaktorer for halm, træaffald og flis ved afbrænding på små anlæg (Elkraft System 2002). Udregning af emissionsværdier for NMVOC og CO sker på baggrund af opgivne data fra el- og varmeproduktionen i Vest-Danmark. Der anvendes data fra decentrale kraftvarmeanlæg, idet de stort set ikke anvender kul men derimod affald, biomasse og naturgas. Det vurderes, at emission af NMVOC og CO fra disse anlæg vil være repræsentativ ved afbrænding af papir. I Eltra's miljøplan 2002 er følgende emissionsværdier opgjort efter energiindholdsmetoden:

NMVOC	0,01 g/kWh
CO	0,03 g/kWh

Dette omregnes til kg/GJ¹¹, og efterfølgende korrigeres for totalvirkningsgraden¹² så emissionsværdien er udtrykt i henhold til energiindholdet i papiret:

NMVOC	0,002 kg/GJ
CO	0,007 kg/GJ

¹¹ 1 kg = 1.000 g, og 1 kWh = 3,6*10⁻³ GJ

¹² Totalvirkningsgraden er udtryk for, hvor meget af brændslets energiindhold, der udnyttes til el- og varmeproduktion. For decentrale kraftvarmeværker (>25MW_{el}) er totalvirkningsgraden 80% (Eltra 2002).

Bilag C

Emissioner ved afbrænding af kul.

Kuls brændværdi er opgjort til 25 GJ/ton (Dalager et al. 1995a). Emissionsværdierne for kul sættes til 95 kg CO₂/GJ; 0,002 kg CH₄/GJ og 0,030 kg N₂O/GJ.

Emissionsfaktorerne er baseret på energiindholdsmetoden og ved kulfyring på store anlæg (Elkraft System 2002). Udregning af emissionsværdier for NO_x, SO₂, NMVOC og CO sker på baggrund af opgivne data fra el- og varmeproduktionen i Vest-Danmark. Der anvendes data fra centrale kraftvarmeanlæg, idet de primært anvender kul. Det vurderes, at emission af NO_x, SO₂, NMVOC og CO fra disse anlæg vil være repræsentativ ved afbrænding af kul. I Eltra's miljøplan 2002 er følgende emissionsværdier opgjort efter energiindholdsmetoden:

NO _x	0,76 g/kWh
SO ₂	0,07 g/kWh
NMVOC	0,01 g/kWh
CO	0,03 g/kWh

Dette omregnes til kg/GJ¹³ og efterfølgende korrigeres for totalvirkningsgraden¹⁴, så emissionsværdien er udtrykt i henhold til energiindholdet i papiret:

NO _x	0,131 kg/GJ
SO ₂	0,012 kg/GJ
NMVOC	0,003 kg/GJ
CO	0,024 kg/GJ

¹³ 1 kg = 1.000 g, og 1 kWh = 3,6*10⁻³ GJ

¹⁴ Totalvirkningsgraden er udtryk for, hvor meget af brændslets energiindhold, der udnyttes til el- og varmeproduktion. For centrale kraftvarmeværker er totalvirkningsgraden i Vest-Danmark 62% (Eltra 2002).

Bilag D

Emissioner i Sverige

I Miljøstyrelsens analysearbejde fra 1995 blev det undersøgt hvilke konsekvenser det ville få i udlandet hvis genanvendelsesmængden af papir i Danmark blev reduceret med 27.000 ton. Der blev undersøgt effekterne af en forøget merproduktion af virgint materiale i Sverige. Herved kan miljøkonsekvenserne fastlægges for hvert ton returpapir, der omlægges fra genanvendelse til energiudnyttelse. De samlede konsekvenser er opstillet i tabel 22, jf. (Dalager et al. 1995b).

Tabel 22. Samlede konsekvenser i Sverige ved en reduktion af genanvendelse af papir i Danmark med 27.000 ton (Dalager et al. 1995b).

<i>Stof</i>	<i>Enhed</i>	<i>Værdi</i>	<i>Værdi pr. ton</i>
Træ (TS)	Ton/år	36.000	1,33
Returpapir	Ton/år	1.000	0,0370
Vand	Ton/år	1.091.000	40,4
NaOH	Ton/år	507	0,0188
CaO	Ton/år	214	0,0079
Andet	Ton/år	1.800	0,0667
Fornybar	TJ/år	393	0,0146
Fossil	TJ/år	33	0,0012
Energi i alt	TJ/år	426	0,0158
CO ₂	Ton/år	3.000	0,1111
SO ₂	Ton/år	39	0,0014
NO _x	Ton/år	30	0,0011
Spildevand	Ton/år	1.051.000	38,9
COD	Ton/år	543	0,0201
AOX	Ton/år	3	0,0001
Affald	Ton/år	600	0,0222

Som det fremgår af tabellen, forårsager den virgine produktion emissioner til miljøet.

Disse er kvantificeret gennem opgørelse af affald, CO₂, SO₂, NO_x og spildevand – herunder COD og AOX.

B i l a g E

Joint Implementation

Princippet i Joint Implementation er, at et land, fx Danmark, indgår en aftale med et andet industrialiseret land (benævnes værtslandet) om at gennemføre et nærmere defineret projekt, som fører til reduktion af udledningen af drivhusgasser, herunder CO₂. Danmark har herefter lov til at udlede drivhusgas svarende til den nedsatte reduktion i værtslandet. Derved har Danmark mulighed for nationalt at øge udledningen af drivhusgas, uden at det samtidig indebærer forøgelse af den international udledning. De to landes regeringer aftaler indbyrdes, hvordan de opnåede reduktioner fordeles mellem landene, således at værtslandet afgiver kvoter til Danmark, der har foretaget investeringen. Handlen kan også foregå mellem virksomheder. (Miljø- og Energiministeriet 1999b). For Danmark kan det være oplagt at gennemføre projekter i de østeuropæiske lande, som følge af det samarbejde vi allerede har med disse lande og det forventede potentiale for omkostningseffektiv reduktioner i landene. (Miljø- og Energiministeriet 1999b)

Clean Development Mechanism

Princippet i Clean Development Mechanism er det samme som i Joint Implementation med den undtagelse, at aftalen indgås mellem et industrialiseret land og et udviklingsland. Foruden at reducere udledningen af drivhusgasser er det et krav, at de aftalte projekter også skal bidrage til en bæredygtig udvikling i værtslandet. (Miljø- og Energiministeriet 1999b)

Bilag F

Miljøeffekter

Kvantificering af emissioner ved afbrænding af kul og biomasse svarende til 1 GJ.

Papirafbrænding sidestilles med afbrænding af biomasse. Kvantificeringen er udført som konsulentopgave af Institut for Produktion og Ledelse ved Danmarks Tekniske Universitet.

Tabel 23 Miljøparametre ved afbrænding af 1 GJ kul i store industrianlæg og kraftværker. SO₂, NO_x og partikler er beregnet fra grænseværdier, CO₂ fra brændselsforbrug.

Udv.grp.+	ID-nr.	Navn	Mængde	Enhed
Affald	T32407	Uspec. Slagge & aske, energi	4,80E+02	g
Luft-emission	S32718	Cu (kobber)	9,30E-04	g
Luft-emission	S32707	Hg (Kviksølv)	7,60E-03	g
Luft-emission	S32723	Carbonmonooxid (CO)	5,30E-01	g
Luft-emission	S32722	Chrom(III)	8,50E-04	g
Luft-emission	S32693	Ni (nikkel)	1,02E-03	g
Luft-emission	S32675	Pb (bly)	2,02E-03	g
Luft-emission	S32699	Mo (molybdæn)	5,30E-04	g
Luft-emission	S32695	Dinitrogenoxid (NO)	5,30E-01	g
Luft-emission	S32756	Nitrogenoxider (NOx)	2,00E+02	g
Luft-emission	S32755	Svovldioxid (SO)	1,25E+02	g
Luft-emission	S32761	Carbondioxid (CO)	9,50E+04	g
Luft-emission	S32757	Hydrogenchlorid (HCl)	7,30E+00	g
Luft-emission	S32729	Uspec. Partikler	1,50E+01	g
Luft-emission	S32725	Methan (CH)	1,07E+00	g
Luft-emission	S32742	As (arsen)	1,15E-03	g
Luft-emission	S32737	Cd (cadmium)	7,00E-05	g
Luft-emission	S32671	Sb (antimon)	1,60E-04	g
Luft-emission	S32472	Mn(mangan)	1,30E-03	g
Luft-emission	S32418	Dioxin	5,00E-09	g
Luft-emission	S32613	Tot-P	8,00E-03	g
Luft-emission	S32608	Sr (strontium)	9,00E-04	g
Luft-emission	NC-S102	Radioaktiv emission	6,30E-01	KBQ
Luft-emission	NC-S101	Benz(a)pyren	2,00E-07	g
Luft-emission	NC-S126	NM VOC, kulfyring	2,13E+00	g
Luft-emission	NC-S122	Cobalt	4,70E-04	g
Luft-emission	S32627	B (bor)	1,57E-01	g
Luft-emission	S32666	Th (thorium)	8,00E-05	g
Luft-emission	S32665	Tl (thallium)	4,00E-05	g
Luft-emission	S32670	Se (selen)	1,15E-02	g
Luft-emission	S32669	Sn (tin)	1,80E-04	g
Luft-emission	S32656	Zn (zink)	5,30E-03	g
Luft-emission	S32638	Mg (magnesium)	1,10E-01	g
Luft-emission	S32660	U (uran)	6,00E-05	g
Luft-emission	S32659	V (vanadium)	1,10E-03	g
Vand-emission	S32230	Chlorat (ClO)	3,50E-01	g

Primær reference: Frieschnecht et. al., Ökoinventare für Energiesysteme, ETH 1996

Værdier i tabel 23 er beregnet for indfyring af 1 GJ kul i store kedler (>50 MW), f.eks. på kraftvarmeværker. Der er tale om estimerede generiske data, der ikke er udtryk for data for specifikke værker. Data kan forventes at være repræsentative for den eksisterende bestand af værker, men nyopførte værker kan have betydeligt mindre emission, undtagen af CO₂.

SO₂, NO_x og Partikelemission er beregnet ud fra grænseværdier (Miljøministeriets bekendtgørelse 689 af 15. oktober 1990 for kedler >50 MW). Kravet fra 1992 er benyttet. Der er ikke væsentlig afvigelse fra oprindelige værdier, og tungmetalemission antages at være repræsentativ i forhold til partikkelniveauet. Værdien for dioxin er yderst usikker.

Tabel 24 Miljøparametre ved afbrænding af 1 GJ biomasse (træflis, papir, halm etc.) per kg tørstof i stort fyr, f.eks. til kraftvarme. Fyr 1-30MW, men partikler beregnet fra grænseværdier 1992 for fyr >50 MW. SO₂ og NO_x ligger under denne grænseværdi.

<i>Udv.grp.+</i>	<i>ID-nr.</i>	<i>Navn</i>	<i>Mængde</i>	<i>Enhed</i>
Affald	T32398	Uspec. slagge & aske, forbr.	1,00E+02	g
Luft-emission	S32742	As (arsen)	1,70E-03	g
Luft-emission	S32737	Cd (cadmium)	3,30E-03	g
Luft-emission	S32729	Uspec. Partikler	1,50E+01	g
Luft-emission	S32755	Svovldioxid (SO ₂)	3,00E+01	g
Luft-emission	S32760	Cr (chrom)	1,70E-02	g
Luft-emission	S32759	PAH	1,70E-02	g
Luft-emission	S32756	Nitrogenoxider (NO _x)	7,00E+01	g
Luft-emission	S32659	V (vanadium)	3,30E-02	g
Luft-emission	S32675	Pb (bly)	6,70E-02	g
Luft-emission	S32418	Dioxin	5,00E-09	g
Luft-emission	S32656	Zn (zink)	4,00E-01	g
Luft-emission	S32718	Cu (kobber)	3,30E-02	g
Luft-emission	S32723	Carbonmonoxid (CO)	2,00E+01	g
Luft-emission	S32681	VOC	8,00E+01	g
Luft-emission	S32707	Hg (Kviksølv)	3,30E-04	g

Primær reference: B.H. Christensen, Energi & Miljø i Norden, dk-TEKNIK, 1991.

Værdier i tabel 24 er beregnet for indfyring af 1 GJ biomasse, f.eks. træ, papir eller halm i store kedler (1 - 30 MW), f.eks. på kraftvarmeværker. Der er tale om estimerede generiske data, der ikke er udtryk for data for specifikke værker. Data kan forventes at være repræsentative for den eksisterende bestand af værker, men nyopførte værker kan have betydeligt mindre emission, undtagen af CO₂.

Partikkelemission er beregnet til 15 g/GJ ud fra grænseværdier (Miljøministeriets bekendtgørelse 689 af 15. oktober 1990 for kedeler >50 MW). Kravet fra 1992 er benyttet. Oprindeligt tal var 45 g/GJ. Tungmetalemissioner og PAH er nedbragt tilsvarende, da disse antages bundet til partikler. Dioxin er for halmfyr med partikkelfilter (1990 tal). Værdien er yderst usikker. Værdi for affaldsforbrænding af papir er $1,5 \cdot 10^{-7}$ g/GJ.

Papirforbrændingen er regnet CO₂ neutral.