

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 3 1993

Miljøforhold ved træbaserede
produkter

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 3/1993

Miljøforhold ved træbaserede produkter
Udpegning af miljøfølsomme faser i livsforløbet

Anders Evald, dk-TEKNIK

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen.

Indhold

Forord 5

Sammendrag 7

English Summary 11

1. Indledning 15

2. Metodebeskrivelse 17

2.1 Valg af betragtningsmåde 17

2.2 Udvælgelse af miljøbelastninger 17

2.3 Energi som nøgle 18

2.4 Valg af reference for energiforsyningen 18

2.5 Input-output-metoden til bestemmelse af energiforbrug 19

2.6 Fordeling af miljøbelastningerne 19

3. Træs livscyklus - kvalitativ beskrivelse 23

3.1 Spiring 23

3.2 Udplantning og etablering 23

3.3 Vækst 24

3.4 Tynding og anden pasning 26

3.5 Høst 28

3.6 Transport 28

3.7 Forarbejdning 28

3.8 Forarbejdning og anvendelse af restprodukter 30

3.9 Brug 31

3.10 Kassation/recirkulering 31

3.11 Genbrug 31

3.12 Slutomsætning 32

3.13 Emissioner og restprodukter 35

4. Energibalance ved fremskaffelse af træ 37

4.1 Beregning af energiforbrug og emissioner 37

4.2 Diskussion af metoden 38

4.3 Sammenligning med andre data 40

5. Kvantificering af andre miljøparametre i skovbruget 41

5.1 Skovbrugets anvendelse af pesticider 41

5.2 Skovbrugets anvendelse af gødning 44

6. Eksempel på sammenlignende analyse 45

6.1 Metodebeskrivelse 45

6.2 Limtrædrager 47

6.3 Ståldrager 55

6.4 Sammenligning af de to alternativer 58

6.5 Brug af input-output-metoden 60

6.6 Diskussion 62

7. Udnyttelse af træressourcer 65

Appendiks 1: Ordforklaring til forstlig terminologi 67

Appendiks 2: Energi- og miljøforhold for erhvervenes produkter 69

**Appendiks 3: Retningslinjer for et bæredygtigt skovbrug
i Danmark 77**

Bilag 1: Reference for elproduktion

Litteratur- og referenceliste

Forord

Projektet

Denne rapport indeholder analyser og konklusioner fra projektet "Erstatning af miljøbelastende råvarer og produkter med træbaserede råvarer og produkter - identifikation af indsatsområder". Projektet, der er gennemført i 1991-1992, er finansieret af Rådet vedrørende Genanvendelse og Renere Teknologi.

Projektets organisation

Projektet blev fra starten placeret hos Skovteknisk Institut (ATV), men gennemførelsen har været underlagt organisatoriske og personalemæssige ændringer, idet Skovteknisk Institut i 1991 indgik i Forskningscentret for Skov & Landskab, mens projektets leder Anders Evald i projektets opstartsfasen skiftede stilling fra Skovteknisk Institut til dk-TEKNIK, Dansk Kedelforening. Projektet er siden gennemført med Niels Heding, Forskningscentret for Skov & Landskab som ansvarlig og med Anders Evald som udførende i regi af dk-TEKNIK.

Styregruppe

Projektet har været fulgt af en styregruppe bestående af:

Ole K. Jensen, Miljøstyrelsen (formand)
Arne Ruager, Træets Arbejdsgiverforening
Thomas Roos, Direktoratet for Arbejdstilsynet
Flemming Grunnet, Industrirådet
Jesper Lund Larsen, Arbejderbevægelsens Erhvervsråd
Hans Mosbæk, Danmarks Tekniske Højskole
Jørgen Baadsgaard-Jensen, Dansk Teknologisk Institut, Træteknik
Niels Heding, Forskningscentret for Skov & Landskab
Anders Evald, dk-TEKNIK (sekretær)

Styregruppen har undervejs i projektet afholdt 3 møder.

Læsevejledning

I rapporten anvendes en række fagudtryk fra skovbruget. De vigtigste af disse er forklaret i appendiks 1.

Eventuelle uoverensstemmelser på sidste decimal i tabellerne skyldes, at afrunding først er foretaget efter additioner og andre beregninger.

Taksigelse

Jeg vil gerne takke de mange, der har bidraget med inspiration, oplysninger og faglig kritik under arbejdet med opgaven. Det er mit håb, at der med dette arbejde er skabt et bidrag til det fortsatte arbejde med at vurdere miljøbelastningerne knyttet til anvendelse af træ og andre produkter.

Anders Evald
December 1992

Sammendrag

Projektets mål

Denne rapport beskriver resultatet af et udredningsarbejde om miljøforhold ved træbaserede produkter. Projektets formål var fra starten at udpege indsatsområder, hvor træprodukter kunne påvises at have særligt gode miljømæssige egenskaber sammenlignet med alternative produkter.

Projektets formål har således ikke været at gennemføre en komplet livscyklusanalyse for træ og træbaserede produkteter, men alene at gennemgå de vigtigste forhold med henblik på udpegnig af kritiske problemstillinger.

Gennem analysearbejdet viste det sig dels at være umuligt at gennemføre analyser af et tilstrækkeligt antal forskellige træbaserede produkter inden for projektets budget, dels at de mest interessante problemstillinger ikke knyttes til træprodukterne som sådan, men til ganske bestemte faser i deres livscyklus.

Projektets indhold

I projektet er dels gennemført en kvalitativ beskrivelse af træprodukters livscyklus med hovedvægten på produktionen i skovbruget og slutomsætningen af træproduktet, dels udført et beregningseksempel, hvor de miljømæssige forhold (her indskrænket til først og fremmest emissioner af CO₂, NO_x og SO₂) for en bærende bjælke fremstillet af limtræ sammenlignes med en tilsvarende stålbjælke med samme styrkemæssige egenskaber.

Energien som nøgle

Projektets metode bygger på den antagelse, at en væsentlig del af miljøbelastningerne er knyttet til energiomsætning i en eller anden form. Således baseres den miljømæssige sammenligning hovedsagelig på data for energiforbruget til fremstilling, transport, bortskaffelse m.m.

Livsforløbet

I kapitel 3 gennemgås livsforløbet for et træprodukt fra fotosyntesen i skoven til slutomsætning ved en forbrændings- eller forrådnelsesproces.

Det slås fast, at uanset om man vælger at genbruge eller genanvende træfibre et stort antal gange, så er den endelige omsætning tilbage til udgangspunktet - kuldioxid og vand - uafvendelig. I valgsituationen ved slutomsætningen beskrives det herefter, at man bør sikre, at træfibrene anvendes som brændsel, og at forrådnelsesprocessen bør begrænses. Årsagen hertil ligger i det faktum, at energien i træfibrene fortrænger fossilt brændsel med tilhørende miljøbelastninger.

Lagring eller forbrænding

Analysen viser videre, at set fra et kuldioxid synspunkt gør det ikke nogen forskel, om man gennem recirkulering, levetidsforlængelse eller deponeering uden nedbrydning forlænger træfibrener levetid. Den mængde kulstof, der hermed kan "lægges på lager", er nemlig ikke større end den mængde kulstof fra fossilt brændsel, der fortrænges ved forbrænding af fibrene. Og ved at vælge en "lagerteknologi" frem for forbrænding her og nu, mister man ofte helt eller delvist muligheden for på et senere tidspunkt at anvende fibrene som brændsel.

Gødning og pesticider

I kapitel 4 dokumenteres skovbrugets nuværende anvendelse af kemiske bekæmpelsesmidler og gødning. Ca. 3/4 af forbruget af disse produkter anvendes i pyntegrøntproduktionen, og de miljøproblemer, der knyttes til

anvendelsen, kan således kun i begrænset omfang lægges den egentlige vedproduktion til last. Et betydeligt udviklingsarbejde er i gang med henblik på udvikling af ikke-kemiske bekæmpelsesmetoder og bekæmpelsesmidler med færre miljøproblemer.

Emissioner fra skovbruget

I kapitel 5 beregnes energiforbrug og emissioner knyttet til skovbrugets produktion af råtræ. Ud fra en forventning om, at tallene i sammenligning med data for forbrug og emissioner i fremstillingsindustrien og i forbindelse med slutomsætningen vil være små, anvendes den relativt grove input-output-metode (Appendiks 2) i beregningen. Det viser sig, at emissionerne knyttet til råtræproduktionen udgør i størrelsesorden 1/10 af de samlede emissioner i forbindelse med fremstilling af træbjælken og andre lignende træprodukter.

En betydelig forskel i energiforbrug til fremstilling af eg, bøg og gran forklares dels med begrænsninger i metoden og dels med den store forskel i rumtæthed for træsorterne. Der kan således ikke på baggrund af analysen påvises nogen sikker forskel i miljøbelastningerne knyttet til dyrkningen af de forskellige træsorter.

Sammenligning af dragere

I kapitel 6 gennemføres som eksempel en sammenligning af en drager af limtræ med en drager af stål. Limtrædrageren, der forbrændes til slut, ser ud til at være det bedste alternativ, når der skal vælges mellem de to konstruktioner med de samme styrkeegenskaber, og når energiforbruget anvendes som afgørende parameter for miljøbelastningen.

Det er interessant at konstatere, at der anvendes en stor andel af træ (affaldstræ) som energikilde ved fremstillingen af det egentlige træprodukt. Når der ses bort fra slutomsætningen drejer det sig 31-54% (afhængig af hvilken kilde, der lægges til grund) af det samlede energiforbrug til fremstilling af limtræbjælken.

Der er andre miljømæssige fordele og ulemper ved de enkelte alternativer - eksempelvis emission af kvælstof- og andre forbindelser ved forbrænding af limtræet eller generelle alvorlige miljøproblemer i tilknytning til stålproduktionen. Der er ikke i eksemplet gået i dybden med disse. Emissioner fra energiproduktionen er meget tungtvejende miljøfaktorer.

Der argumenteres for, at træbjælken efter kassation skal brændes på et anlæg, hvor energien udnyttes på en måde, der fortrænger fossile brændsler. Eftersom brændværdien af bjælken er større end det akkumulerede energiforbrug til bjælkens fremstilling og andre faser i livsforløbet, så bliver det samlede resultat for træbjælken et *negativt* energiforbrug med tilhørende negative emissionsdata. Dette tolkes således, at træbjælkens anvendelse reducerer miljøproblemer snarere end den forøger dem.

Alternativ	Bortskaffelsesmetode	Emissioner i livsforløbet			Intervaller		
		kg			kg		
		CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x
Limtrædrager	Forbrænding	-114	-0,74	-0,03	-114 til -111	-0,74 til -0,70	-0,12 til -0,03
Ståldrager	Recirkulering	171	0,86	0,33	171 til 476	0,86 til 2,91	0,33 til 0,99

Resulterende emissioner for de to sammenlignede alternativer. Intervallerne antyder den spredning, der kan konstateres; for træbjælkens vedkommende, når man anvender data fra to forskellige kilder; for stål-bjælkens vedkommende, når man anvender data svarende til Det Danske Stålværværk i dag (den lave værdi) og et ældre stålværk (den høje værdi).

Miljøfordele

De negative værdier bør undre, idet det må anses for usædvanligt, at en analyse af miljøbelastninger resulterer i, at den undersøgte proces ikke belaster miljøet, men snarere løser miljøproblemer. En række undersøgelser bekræfter imidlertid det negative fortegn foran energiforbrug og miljø-nøgletal. Disse undersøgelser er kort beskrevet i afsnit 6.4.

Hvis træbjælken deponeres, så brændværdien ikke udnyttes, falder regne-stykket alligevel ud til trædragerens fordel, blot ikke med negative værdier og med en mindre forskel mellem de to alternativer.

Der er i beregningerne ikke taget hensyn til det forhold, at produktionen af råtræet til limtræbjælken undervejs i skovens vækst giver grundlag for en række biprodukter – først og fremmest energi i form af brænde og skov-flis. Indregnes disse i balancen, vil limtræbjælken give anledning til yderligere fortægning af miljøbelastninger.

Konklusion

Miljøfordele ved anvendelse af træprodukter findes først og fremmest i udnyttelse af den i træproduktet bundne brændværdi til energiproduktion. En udpegning af indsatsområder, hvor træ har særlige muligheder for at påvirke miljøet positivt, vil altså i første række have karakter af en anvisning på, hvorledes træprodukter og træbaserede restprodukter kan anvendes til energitudnyttelse i slutningen af deres livscyklus.

Arbejdet med udpegning af hvilke produkter (indsatsområder), det i givet fald vil være mest interessant at satse på, er ikke nået så langt i dette projekt, som det var intentionen fra projektets start. Der vil således fortsat være et behov for en energimæssig sammenligning af træprodukter med andre produkter med henblik på udpegning af indsatsområder.

Gør træproduktet brændbart

Med limtrædrageren som eksempel indebærer konklusionen, at limtræ i sig selv ikke udmærker sig fremfor andre træprodukter, og at indsatsen for at opnå miljøfordel med træprodukter skal koncentrere sig om at gøre rest-produkterne brændbare, d.v.s.

- sikre, at restprodukterne kan bringes frem til et energianlæg,
- sikre, at de kan bringes på en form, så de kan brændes og
- sikre, at forbrændingen ikke sker med uacceptable emissions-

I mange tilfælde indebærer dette krav, at det af hensyn til opnåelsen af miljøfordele ved slutomsætningen kan blive nødvendigt at begrænse anvendelsen af uønskede stoffer på træet, (maling, imprægnering, lim m.fl.).

Sådanne begrænsninger kan forventes at få væsentlig betydning for fremstilling og brug af træbaserede produkter, og der kan derfor påpeges et behov for en uddybende belysning af konsekvenserne for produktion, anvendelse og forbrænding af forskellige former for "forurening" af det rene træ med maling, lim, osv.

Træressourcer

Ved siden af ovennævnte betragtninger om energibalancer og miljøbelastninger, er det afgørende at vurdere de ressourcemæssige begrænsninger for træudnyttelsen. Der er ikke i denne rapport redegjort nærmere for produktionsmulighederne i dansk, nordisk eller europæisk skovbrug. Blot skal der med henvisning til bl.a. ref. 1, 2¹⁾ og 30 påpeges, at udnyttelsen af træ fra skove i Danmark, Skandinavien og Europa ligger betydeligt *under*, hvad der kan produceres i skovbruget. Der er altså i dag et yderligere produktionspotentiale i skovbruget op til en grænse, der bestemmes af hensynet til ordentlig skovdrift – herunder af at grundlaget for skovdriften i fremtiden ikke må forringes.

I Appendiks 3 (der er fra ref. 3) findes en god og præcis beskrivelse af de lovgivningsmæssige rammer, der i Danmark sikrer en ordentlig skovdrift.

Hvis konklusionen i analysen i afsnit 3.12 og kapitel 6 i øvrigt er troværdig, og det samtidig anerkendes, at træressourcen i dag kan udnyttes yderligere under hensyntagen til principperne for bæredygtig skovdrift, så kan det konkluderes, at man ikke af hensyn til miljøet skal begrænse anvendelsen af træ – forudsat at disse principper for et ordnet og flersidigt skovbrug overholdes.

¹⁾ Der henvises m.h.t. tal for træforbrug og tilvækst til en rapport fra ECE/FAO, hvori det dokumenteres, at den stående masse i Europa siden 50'erne er mere end fordoblet, samtidig med at skovene har leveret træ først til genopbygning af Europa og dernæst til højkonjunktur for byggeriet.

English Summary

The object of the project

This report describes the results of a study on the environmental conditions for wood based products. From the beginning, the object of the project was to point out fields of activity where wood products were proved to have particularly good qualities as regards environmental conditions compared with alternative products.

The object of the project has not been to carry out a complete life cycle analysis of wood and wood based products but solely to examine the most important conditions with the object to point out critical problems.

When working with the analysis it turned out to be impossible to carry out a sufficient number of analyses of different wood-based products within the project budget. Furthermore the most interesting problems showed not to be connected to the wood products as such but rather to certain phases of their life cycles.

Contents of the project

In the project a qualitative description of the life cycle of wood products has been carried out with the greatest importance attached to production in forestry and final transformation of wood products. Also an example of calculation has been carried out where the environmental conditions for a laminated wood girder is compared with a corresponding steel girder with the same strength.

Energy as the key

The method used in the project is based on the assumption that a considerable part of the environmental impact is connected to the energy consumption in one way or the other. Therefore, the environmental comparison is based mainly on energy consumption data from production, transport, disposal, etc.

Life cycle

In chapter 3 the life cycle of a wood product is examined from photosynthesis in the forest to final transformation in a combustion or natural decomposition process.

It is shown that even if it is chosen to recycle wood fibres many times, the final transformation will inevitable return to the starting point - carbon dioxide and water. When choosing the final transformation the advice is to make sure that the fibres are used as fuel and to limit the natural decomposition process. The reason is the fact that the energy in the fibres replaces fossil fuels thus reducing environmental impact from fossil fuels consumption.

Storage or combustion

Furthermore, the analysis shows that seen from a carbon dioxide point of view it makes no difference whether you extend the lifetime of fibres through recycling, lifetime extension, or depositing without decomposition. The amount of carbon dioxide which in this way is "stored" is not bigger than the amount of carbon dioxide from fossil fuels which is replaced by combustion of the fibres. And through choosing a "storage technology" instead of combustion here and now the possibility of using the fibres as a fuel later is often totally or partially lost.

Fertilizer and pesticides

In chapter 4 the present use of chemical pesticides and fertilizer in forestry is documented. Approx. 3/4 of the consumption of these products are applied in Christmas tree and greenery production, and the environmental problems which are connected to the application can only to a limited extent be blamed on the wood production as such. A considerable work is in progress in order to develop non-chemical control methods and pesticides with fewer environmental problems.

Emissions from the forestry

The energy consumption and emissions from forestry which are connected to the raw timber production are calculated in chapter 5. On the assumption that the figures would be small compared with data of consumption and emissions in the production industry and in connection with the final transformation, the relatively rough input-output method (Appendix 2) has been used for the calculation. It shows that the emissions connected to the raw timber production account for 1/10 of the total emissions in connection with production of the wood girder and other similar wood products.

A considerable difference in the energy consumption of production of oak, beech, and spruce is explained by limitations in the method and the big difference in specific gravity of the different wood species. In the light of the analysis no exact difference can be proved in the environmental impact connected to production of the different wood species.

Comparison of girders

In chapter 6 a comparison of a laminated wood girder and a steel girder is carried out as an example. The laminated timber girder seems to be the best alternative when the choice lies between the two constructions with equal load-bearing capacity (same "fitness for purpose"), and when the energy consumption is used as the determining parameter for environmental load.

It is interesting to note that a big amount of wood (waste wood) is used as energy source in manufacture of wood products. When the final transformation is left out of account, it is a matter of 31-54% (dependent on which source we take for our basis) of the total energy consumption of production of the laminated wood girder.

There are other environmental advantages and disadvantages to the individual alternatives - e.g. emission of nitrogen compounds and other compounds when laminated timber is combusted or general serious environmental problems connected to steel production. In this example these problems are not described in depth. Emissions from the energy production are considered very important environmental factors.

We argue for combustion of the wood girder after scrapping in a plant where the energy is exploited in a way that replaces fossil fuels. As the heating value is higher than the accumulated energy consumption in the production of the girder and other phases in the life cycle the total result for the wood girder shows a *negative* energy consumption with corresponding negative emission data. This might be interpreted that the use of the wood girder *reduces* environmental problems rather than increases them.

Alternative	Method of disposal	Emissions in the life cycle kg			Intervals kg		
		CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x
Laminated wood girder	Combustion	-114	-0,74	-0,03	-114 to -111	-0,74 to -0,70	-0,12 to -0,03
Steel girder	Recycling	171	0,86	0,33	171 to 476	0,86 to 2,91	0,33 to 0,99

Emission results of the two alternatives compared. The intervals estimate the dispersion that was found; as regards the wood girder, when data from two different sources were used, and as regards the steel girder, when data corresponding to "Det Danske Stålværk" today (the low value) and an older steelworks (the high value) were used.

Environmental advantages

The negative values might be astonishing, as it might be considered unusual that an analysis of environmental impact results in the fact that the analysed process does not impact the environment, but solves environmental problems. However, a number of other investigations confirms that the energy consumption and environmental key figures have negative signs. These tests are described briefly in passage 6.4.

If the wood girder is not burnt so that the heating value is not utilized the calculations still turns out well for the wood girder, but not with negative values however, and with a smaller difference between the two alternatives.

Conclusion

Advantages for the environment with the use of wood products are mainly found when the latent heating value is used for energy production. In order to make wood influence the environment positively, instructions should be given to how wood products and wood-based products can be exploited for energy purposes in the end of their life cycles.

We did not get as far as we had hoped in this project with the pointing out of specific products which would be interesting to concentrate on. There is still a demand for a comparison of wood products and other products as regards energy exploitation in order to point out which products to concentrate on.

Combustible wood products

Using the laminated wood girder as an example the conclusion does not imply that laminated wood as such gain distinction compared to other wood products. In order to obtain environmental advantages the effort should concentrate on making the residual products combustible, i.e. by

- ensuring that the residual products can be transported to an energy plant,
- ensuring that it can be made combustible and
- ensuring that the combustion does not cause unacceptable emissions.

In order to obtain environmental advantages through the combustion this demand often means that it is necessary to limit the use of undesirable substances applied to the wood (paint, proofing, glue, etc.).

Wood resources

In addition to the above mentioned reflections on energy balances and environmental impact it is important to estimate the limitations of wood exploitation as regards resources. This report does not account for pro-

duction prospects in Danish, Scandinavian or European forestry. Referring to for example 1, 2¹⁾ and 30, we only wish to call attention to the fact that the exploitation of wood from forests in Denmark, Scandinavia, and Europe is considerably less than the actual potential in the forests. Today, there is a considerable further production potential in forestry which is limited by the consideration for sustainable forest management – including a security that the basis of forestry in the future is not deteriorated.

In Appendix 3 (from ref. 3) there is a good and accurate description of the legislative framework which secures a sustainable forest management in Denmark.

If the conclusions in the analysis in paragraph 3.12 and chapter 6 are credible and if it is recognized that the wood resources might be exploited additionally, still paying respect to the principles of sustainable forest management, the conclusion is that the exploitation of wood should not be limited out of consideration for the environment – on the condition that the principles for a sustainable forestry are fulfilled.

¹⁾ As regards figures of wood consumption and increment we refer to a report from ECE/FAO in which it is substantiated that the standing volume in Europe has been more than doubled since the 50'ties and simultaneously the forests have supplied wood for reconstruction of Europe and in addition, for the boom in the building sector.

1. Indledning

Miljøbevidsthed

Miljøforhold, der knyttes til de produkter, vi omgiver os med til daglig, får stadig større betydning – både for muligheden for central regulering af udviklingen på miljøområdet, men også for den enkelte borgers forbrugsvalg, der i stigende grad træffes på baggrund af miljøbevidsthed.

Behovet for konkret viden om de enkelte produkters miljømæssige egenskaber udmøntes i disse år i en lang række udrednings- og forskningsprojekter, der har til formål at frembringe bedre viden om disse spørgsmål. Samtidig er der en voksende opmærksomhed om CO₂ som miljøparameter, hvilket øger behovet for viden om miljøforhold, der knyttes til omsætningen af organiske materialer i samfundet.

Målsætning

På denne baggrund tog det daværende Skovteknisk Institut i 1990 initiativ til denne indledende udredning om miljøforhold ved træbaserede produkter. Det var fra starten klart, at en detaljeret livscyklusanalyse ville indebære et overordentligt stort arbejde, og målsætningen blev derfor først og fremmest at identificere de særlige forhold ved træprodukter, der er interessante fra en miljømæssig synsvinkel. Målet blev defineret som en udpegning af indsatsområder – forstået som f.eks. produkttyper, hvor træprodukter har særligt gode miljømæssige egenskaber sammenlignet med andre materialer.

Som det fremgår af rapporten blev resultatet en udpegning af indsatsområder af en lidt anden karakter: I stedet for at pege på egentlige produkttyper peges der på kritiske faser i produktets livsforløb set fra en miljømæssig synsvinkel.

Metode

Som metode blev det valgt at analysere energiforbruget ved fremstillingen af produkterne, for derefter via nøgletal at omsætte energiforbruget til miljøbelastninger. I begrænset omfang inddrages dog også andre miljøparametre.

I rapporten påvises en række vigtige sammenhænge særlig omkring slutomsætningen af træfibrene. Den direkte sammenligning af produkter er begrænset til eksemplet, hvor en træbjælke sammenlignes med en stålbjælke. Der skal her advares mod, at man overfører konklusionerne fra dette eksempel til andre produkter med væsentligt anuerledes egenskaber. Målsætningen med projektet har været at antyde sammenhænge – ikke at hænge enkelte produkter ud.

2. Metodebeskrivelse

2.1 Valg af betragtningsmåde

Marginal betragtning

Ved sammenligning af produkter anlægges der grundlæggende en marginal betragtning, forstået således, at det vurderes om anvendelse af træ som råvare i produkter, medfører forværringer eller forbedringer i forhold til tilsvarende produkter fremstillet ud fra andre råvarer.

Denne betragtningsmåde nødvendiggør en beskrivelse af det alternative produkts miljømæssige egenskaber, der i princippet er gennemført ligeså detaljeret som beskrivelsen af det træbaserede produkt.

Den marginale betragtning anlægges ikke blot ved sammenligningen af produkterne i deres anvendelsesfase. Også i beskrivelsen af de miljømæssige forhold i andre faser af træproduktets livsforløb anlægges en marginalbetragtning. I hver enkelt tilfælde beskrives et alternativ for at kunne definere miljøbelastningen. Beskrivelsen tager udgangspunkt i spørgsmålet: Hvad ville vi have gjort, hvis vi ikke havde dyrket træ og brugt det til dette formål?

2.2 Udvalgelse af miljøbelastninger

Energiforbrug

Projektets hovedformål har været at beskrive miljøbelastninger som følge af energiforbrug, og hovedvægten i analyserne er derfor lagt på dette energiforbrug som parameter for miljøbelastninger.

Andre miljøparametre

I visse forbindelser trækkes andre miljøbelastninger ind i analysen; det gælder særlig på punkter, hvor disse belastninger er oplagt vigtige (træstøv i fremstillingsindustrien) eller hvor der foreligger data til beskrivelse af et område, hvor tvivlsspørgsmål kunne rejses (kemiske bekæmpelsesmidler i skovbruget).

Ved gennemførelse af sammenligninger – eksempelvis med stål som i kapitel 6 – vil andre miljøbelastninger, som er særdeles relevante for det alternative materiale, skulle inddrages i sammenligningen.

Frasortering

Analyse af samtlige miljøbelastninger er en umulig opgave. Der foretages forholdsvis tidligt i analysearbejdet en udvælgelse af de vigtigste miljøpåvirkninger til videre analyse. Denne frasortering foretages ud fra kendt viden, hvori indgår en subjektiv vurdering af vigtigheden af den pågældende miljøfaktor. Eksempelvis forekommer et nærmere studie af vandforbrug i forbindelse med produktion af træer af mindre vigtighed end emissionen af skadelige stoffer til luft og forbruget af endelige ressourcer.

2.3 Energi som nøgle

Miljødata via energiforbrug

Væsentlige dele af miljøbelastningerne knyttet til produktet opgøres gennem en opgørelse af energiforbruget i forbindelse med fremstillingen af produktet.

Denne metodik er valgt, dels fordi energiforbruget i forbindelse med produktionen er en betydelig kilde til den samlede miljømæssige belastning i forbindelse med et givet produkt, dels fordi energiforbruget er relativt enkelt at opgøre i de enkelte delprocesser og endelig fordi der eksisterer en forholdsvis pålidelig sammenhæng mellem energiforbruget og de dertil knyttede miljøbelastninger.

For at kunne knytte energiforbrug og emissioner sammen er det imidlertid nødvendigt at kende dels brændslet, og dels det tekniske anlæg energiomsætningen finder sted i. Kortlægningen af energiforbrug kan således ikke indskrænkes til energi alene, men må også omfatte en beskrivelse af brændsel og omsætningsanlæg.

Restprodukter

Særlig interesse knytter sig her til de forskellige former for rest- og bi-produkter, der kan anvendes og bliver anvendt til energi undervejs i produktionen af et træprodukt fra vugge til grav. Det drejer sig eksempelvis om:

- skovflis fra tyndinger i skoven
- bark og sortlud til el- og varmeproduktion på papirfabrik
- spåner, savsmuld og flis fra træindustri, der anvendes på virksomheden eller sælges som brændsel

Tilknyttes hovedproduktet

Eftersom dannelsen af disse restprodukter er knyttet til produktionen af et hovedprodukt, så vil de miljømæssige forhold, der er forbundet med den energimæssige anvendelse af restproduktet, skulle knyttes til hovedproduktet jf. afsnit 2.6. Om restprodukterne rent faktisk anvendes direkte i forbindelse med produktionen af hovedproduktet er af mindre betydning; det afgørende er, at omsætningen knyttes til hovedproduktet, og at der ved beregning vælges en teknik, der er så tæt på virkeligheden som muligt.

I praksis indebærer dette, at energiforbruget ved fremstilling af et givet produkt, skal vurderes i lyset af, at en del af forbruget er baseret på fornyelig energi, og emissionerne af f.eks. CO₂ følgerig er små.

2.4 Valg af reference for energiforsyningen

Fortrænger fossilt brændsel

Referencen for slutomsætningen af træproduktet, er at produktet kan anvendes som brændsel, der fortrænger et fossilt brændsel. Dette valg er uddybende beskrevet i afsnit 3.12.

Brændsel og anlægstype

Det er af afgørende betydning for opgørelsen af miljøparametre i denne forbindelse, at der vælges det rigtige alternativ for energiforsyningen, så fremt træproduktet ikke anvendes som brændsel. Med andre ord: hvilken anlægstype tænkes det træbaserede produkt forbrændt i, hvilket brændsel kan man erstatte og i hvilken anlægstype reduceres brændselsforbruget, når energiforsyningen kan tilføres nyt brændsel i form af træbaserede restprodukter.

Der er her valgt så vidt muligt at lade referencen passe til den mulige form for energianvendelse med det pågældende produkt. Eksempelvis er der i kapitel 6 regnet med, at træbaserede affaldsprodukter forbrændes i et affaldsfyret kraftvarmeanlæg, hvor der fortrænges el produceret efter danske produktionsforhold i elsektoren og varme, der fortrænger kulbaseret kraftvarmeproduktion.

2.5 Input-output-metoden til bestemmelse af energiforbrug

Direkte bestemmelse

Ved bestemmelsen af energiforbrug ved fremstillingen af et givet produkt kan anvendes flere metoder.

Energiforbruget, der forekommer ved anvendelse af maskiner og motorer m.m. (eksempelvis i motorsave, fældningsmaskiner, krattrydder m.fl. i skovbruget, elmotorer, fyringsanlæg m.m. i fremstillingsindustrien) med tilhørende emissioner kan ofte gøres op direkte ved registrering af processparametre i skovbruget og andre sektorer.

Dét indirekte energiforbrug, der forekommer i fremstillingen af maskiner, industribygninger m.v. kan imidlertid sjældent vurderes gennem en direkte opgørelse af forbruget. Her må i stedet anvendes en indirekte metode. I denne rapport anvendes en metode, der her kaldes "Input-output-metoden".

Input-output-metoden

Ved hjælp af denne metode relateres energiforbruget i forskellige industri-sektorer i samfundet til værdien af produktionen i den pågældende sektor. Herved kan energiforbruget bundet i fremstillingen af eksempelvis en maskine vurderes ud fra værdien af maskinen. Metoden giver data dels om størrelsen af energiforbruget og dels om energiforbrugets fordeling på forskellige energiarter. Ud fra nøgletal for emissioner ved forskellige energiarter knyttes energiforbruget til de dertil hørende emissioner. Metoden er nærmere beskrevet i Appendiks 2, mens talgrundlaget er fra ref. 4. Appendiks 2 er udarbejdet på baggrund af ref. 5.

Valg af metode

Direkte opgørelse af energiforbrug anvendes, når data for de enkelte delprocesser foreligger. Input-output-metoden anvendes i situationer, hvor energiforbruget i de enkelte processer vurderes som af mindre betydning, eller hvor data for disse energiforbrug ikke er tilgængelige. I fornødent omfang kan denne metode også anvendes til bestemmelse af energiforbruget bundet i fremstillingen af maskiner m.v.

2.6 Fordeling af miljøbelastningerne

Mange produkter fra skoven

Skoven producerer i sin vækstcyklus en lang række produkter: brænde, cellulosetræ, gulvtræ, tømmer, finertræ m.m. Det er således nødvendigt at afgøre, hvorledes miljøbelastningerne i forbindelse med skovdyrkingen skal fordeles på de enkelte produkter.

Afklaringen foretages med udgangspunkt i spørgsmålet: kunne miljøbelastningen være undgået, i så fald hvordan, og hvilket eller hvilke produkter er årsag til at aktiviteter gennemføres, der medfører denne miljøbelastning?

Pesticider

Eksempel 1: Pesticider anvendes i skovbruget primært i pyntegrøntproduktion. Hvis der alene dyrkedes træer til celluloseproduktion, ville pesticider ikke blive brugt. Pesticidforbruget skal derfor alene tilskrives pyntegrøntprodukterne.

Brændsel af tyndingstræ

Eksempel 2: Efterladte træer fra 1. tynding udsender kuldioxid (efter definitionen af den relative betragtning er alternativet en brændselsanvendelse, der fortrænger kul. Anvendes potentielt brændsel ikke til energi, vil der i stedet ske en tilsvarende udsendelse af kuldioxid – ikke fra træet, men fra kullet, der må brændes i stedet). Denne miljøbelastning kan fordeles kg til kg på skovens slutprodukter.

En konsekvent anvendelse af dette princip kan medføre vanskelige og uoverskuelige analyser. Der vil i rapporten blive lagt vægt på hovedsageligt at beskrive denne sammenhæng kvalitativt og kun i mindre omfang kvantitativt, idet hovedvægten af analysen følger "hovedsporet", d.v.s. følger hovedproduktet.

Restprodukters miljøforhold

Restprodukter

Det fastlægges som generelt princip, at miljøbelastninger, der er knyttet til restprodukterne, tillægges hovedproduktet.

Undervejs i livsforløbet for et træprodukt skilles restprodukter fra i betydeligt omfang. Argumentet for at belaste hovedproduktet med miljøbelastningerne fra restproduktet skal søges i en beskrivelse af årsagssammenhænge. Spørgsmålet "Hvorfor produceres råvaren træ?" forudsættes således besvaret med: "For at kunne producere hovedproduktet".

Hvis årsagen til træproduktionen skal søges i ønsket om fremstilling af hovedproduktet, mens biproduktet fremstilles, fordi der opstår et restprodukt undervejs i processen, så bliver den logiske konsekvens, at miljøbelastninger, der opstår i restproduktets livscyklus, må tillægges hovedproduktet¹⁾.

Hvordan analysere?

Konsekvenserne af dette valg af metodik er store. For det første kan miljøbelastningerne i forbindelse med restprodukterne være ganske store (50% af råtræet saves fra på primære savværker). For det andet kan analysearbejdet herved blive udvidet betydeligt, idet analysen ikke kan indskrænkes til at følge livsforløbet for hovedproduktet, men tillige skal beskrive en – eller eventuelt flere – parallelt forløbende livscyklus for restproduktet.

Fordeling på flere brugere

Levetidsfordeling

Hvis flere brugere efter hinanden genanvender det samme træprodukt, eller recirkulerer materialet i produktet til f.eks. produktion af spånplader, hvorledes skal da de miljøbelastninger, der er knyttet til produktet, fordeles på disse flere brugere? Der anvendes her som generelt princip, at miljøbelast-

¹⁾ Som eksempel på tankegangen kan overvejes konsekvenserne ved en tilsvarende analyse af eksempelvis et fødevarerprodukt i et supermarked. Hvilke miljøbelastninger knytter sig til dette produkt? Emballagen omkring produktet må betragtes som en nødvendighed betinget af produktion af hovedproduktet (fødevaren), og de miljøbelastninger, der knytter sig til emballagen i dennes levetid, må da tillægges hovedproduktet. Emballagen er således ikke hovedårsag til nogen miljøbelastning – det er fødevarerproduktet.

ningerne ved produktets fremstilling fordeles efter levetiden i forhold til slutomsætningstidpunktet. For en bruger, der genanvender et givet produkt, vil "miljøgælden" i produktet altså kunne reduceres forholdsmæssigt til den andel af levetiden, hvor produktet anvendes hos brugeren. Dette princip er i overensstemmelse med andre analyser af samme karakter.

3. Træs livscyklus – kvalitativ beskrivelse

Cyklisk livsforløb

Miljøforholdene i forbindelse med produktion og anvendelse af træ og træprodukter, vil kunne beskrives med udgangspunkt i forløbet af træets livscyklus. Forløbet kan betragtes som cyklisk, idet træets vækst starter ved spiringen af frøet og afsluttes ved slutomsætningen af vedmasse, bark og andre trædele i en mikrobiel nedbrydningsproces eller i en forbrændingsproces. Ringen slutes, dels ved at træet selv leverer frø til kommende trægenerationer, dels ved at slutprodukterne fra slutomsætningen (først og fremmest kuldioxid) anvendes af nye træer i deres vækst.

Som grundlag for analyse af energiforbrug og andre miljøparametre ved fremstilling, brug og bortskaffelse af træ og træprodukter gives her en beskrivelse af træets livscyklus samt af de miljøforhold, der knyttes direkte og indirekte til de enkelte faser i livsforløbet.

Detaljer

Beskrivelsen omfatter såvel store som små, tænkelige såvel som utænkelige miljøbelastninger. Formålet med denne detaljerede gennemgang er at kunne frasortere de mindre relevante miljøbelastninger på et så kvalificeret grundlag som muligt. Ingen analyse af denne karakter kan dog påberåbe sig at være fuldstændig, og det skal derfor påpeges, at der *kan* være tale om yderligere miljøpåvirkninger, som i denne beskrivelse enten er overset eller fundet irrelevante i sammenhængen.

Skovbrug og slutomsætning

Hovedvægten i beskrivelsen er lagt på vækst og produktion af træet i skovbruget samt på slutomsætningen, idet forholdene omkring industrielle processer, brug og bortskaffelse indtil slutomsætningen kun overfladisk kan beskrives generaliseret.

3.1 Spiring

Starten af livscyklus

Træets livscyklus starter ved spiringen af frøet (åger, bog m.fl.). Der er ikke knyttet kendte miljøbelastninger til denne fase.

Skovplanteskoler

I forbindelse med skovplanteskoler kan en vis miljøbelastning forekomme fra energiforbrug og forbrug af bekæmpelsesmidler og gødning. Forholdene omkring skovplanteskoler er uddybende beskrevet i kapitel 5.

3.2 Udplantning og etablering

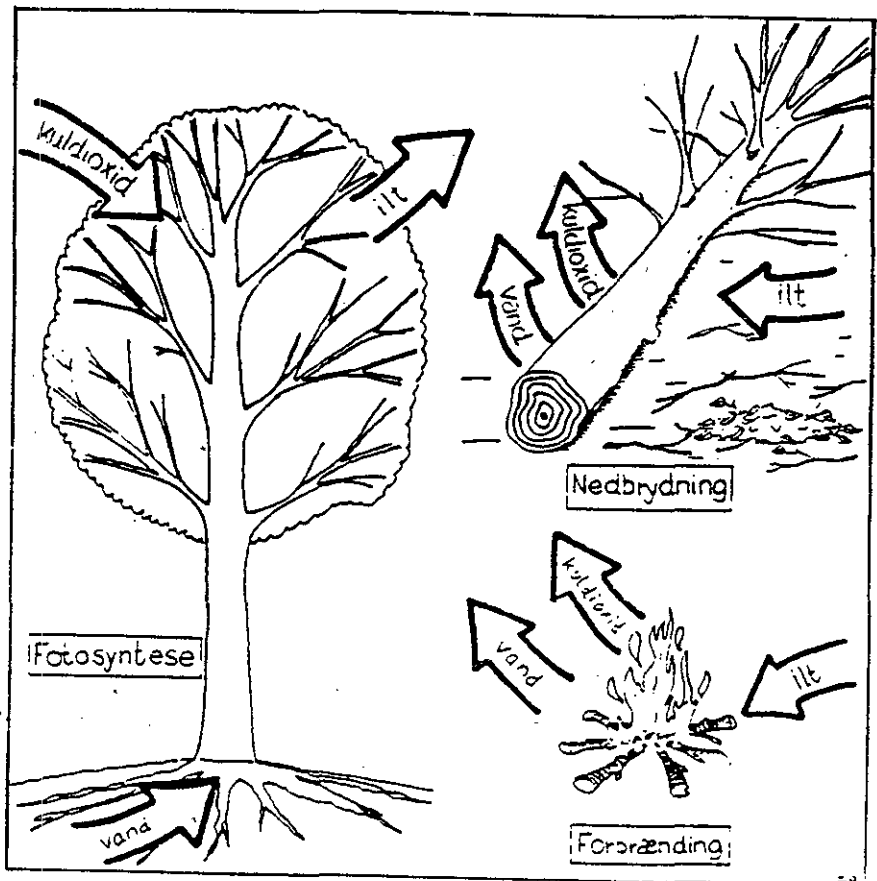
Selvforryngelse og plantning

Der skelnes her mellem to former for etablering af nye skovbevoksninger: selvforryngelse og udplantning af små træer fra en skovplanteskole, her kaldet "plantning".

Selvforryngelse

Ved selvforryngelse (nye træer vokser op hvor frø fra de gamle er faldet og spirer) er der ingen kendte miljøbelastninger forbundet med starten af plantens vækst.

<i>Plantning</i>	Ved plantning vil der kunne påvises en vis miljøbelastning i forbindelse med kørsel og anden maskinanvendelse ved anlæg af kulturen.
<i>Anlæg</i>	Når jorden forberedes for plantningen, vil der ligeledes kunne tænkes miljøbelastninger i forbindelse med maskinanvendelse på arealerne ved rydning af kulturareal, jordbearbejdning, transport, hegning etc. Miljøproblemer knyttet til maskinanvendelse i udplantningsfasen er langt overvejende i form af forbrug af dieselolie i maskinerne med hertil hørende emissioner af kuldioxid, svovldioxid, kvælstofoxider og partikler. Der vil desuden kunne påvises et indirekte energiforbrug ved fremstillingen af maskinerne. Disse belastninger analyseres ikke direkte, idet det vurderes, at størrelsen af disse er lille sammenlignet med de miljøforhold, der knytter sig til træets vækst, høst, forarbejdning, anvendelse og slutomsætning.
<i>Bekæmpelsesmidler</i>	I skovbruget anvendes kemiske bekæmpelsesmidler hovedsagelig ved etablering af pyntegrøntkulturer (juletræer og klippegrønt). Miljøproblemer knyttet til bekæmpelsesmidlerne er derfor overvejende knyttet til produktionen af pyntegrønt, og kun en mindre del af forbruget skal således i en analyse af miljøbelastninger knyttes til andre træprodukter end pyntegrønt. I kapitel 5 er anvendelsen af gødning og pesticider i skovbruget nærmere beskrevet.
<i>Gødskning</i>	I sjældne tilfælde anvendes der gødning ved etablering af bevoksningen. Det drejer først og fremmest om pyntegrøntbevoksninger (juletræer og klippegrønt), men i sjældne tilfælde også om egentlig produktionsskov på mager hedejord. Gødsningen er nærmere omtalt i afsnit 3.4 og 5.2.
3.3 Vækst	
<i>Fotosyntesen</i>	Under træets vækst anvendes energi i form af sollys, der indgår i fotosyntesen. Effektiviteten i energioptagelsen er ringe – kun ½% til 2% af det indfaldne sollys udnyttes til opbygning af organisk materiale.
<i>Energi i vedmasse</i>	Solenergien er gratis og omsætningen fra strålingsenergi til organisk stof er uden kendte miljøproblemer. Den energi, der bindes i det organiske materiale, regnes således <i>ikke</i> med som et energiforbrug i en samlet opgørelse af energiforbrug ved fremstillingen af træprodukter.
<i>Kuldioxidbalancen</i>	Under væksten optages vand og kuldioxid, mens der afgives ilt. Samtidig opbygges organisk stof bestående af (alt overvejende) kulstof, ilt og brint (figur 3.1).
<i>Ilt</i>	Iltbalancen har næppe den store betydning for miljøvurdering af træproduktionen.



Figur 3.1

Illustration af balancen mellem kuldioxid, ilt, vand og organisk stof ved vækst og nedbrydning af træ og træmaterialer.

Kuldioxid

Kuldioxid-balancen diskuteres nærmere i afsnit 3.12.

Vand

Man kan forestille sig, at der kunne være problemer omkring udtørring af jorden som følge af træets optagelse af vand fra jorden under væksten. To forhold gør vandforbruget mindre interessant i miljømæssig sammenhæng:

For det første er planters optagelse af vand direkte knyttet til væksten – vand er endog ofte en begrænsende faktor for planters vækst. Vandforbruget er således uundgåeligt, for så vidt man ønsker at dyrke jorden, og forbrug af vand fra jorden kan derfor ikke regnes som en miljøfaktor, der tilskrives trædyrkningen, men skal alene ses som en følge af, at jorden dyrkes eller i det hele taget er bevokset.

For det andet vil skovbevoksningen i mange tilfælde have en *gunstig* indvirkning på vandbalancen i jorden. På tørre jorde vil skovens skyggevirksomhed medføre mindre fordampning fra jorden og dermed modvirke udtørring. På fugtige jorde vil træernes vandoptagelse dræne jorden med forbedrede vækstvilkår til følge.

Kunstvanding

Ægntlig kunstvanding af skovbrugsarealer finder ikke sted i noget betydeligt omfang i Danmark. I sjældne tilfælde kan der blive tale om vanding af mindre parceller med nyetablerede kulturer, hvis disse på grund af tørke er i fare for at gå ud.

3.4 Tynding og anden pasning

Kemiske midler

Kemiske bekæmpelsesmidler anvendes i begrænset omfang i skovbruget: ved pyntegrøntsdyrkning er bekæmpelsesmidler til renholdelse og bekæmpelse af skadedyr almindeligt anvendt. I egentlig produktionsskov anvendes kemiske bekæmpelsesmidler derimod sjældent. Anvendelsen begrænses til eksempelvis bekæmpelse af snudebilleangreb i gran. Problemerne knyttet til anvendelsen af kemiske bekæmpelsesmidler er beskrevet i afsnit 5.1.

Gødskning

I visse tilfælde anvendes der gødning i forbindelse med bevoksningens vækst. Igen er det pyntegrøntbevoksningerne, der er dominerende, men forbruget af gødning i egentlig produktionsskov er dog stigende. Der tilføres kalk og almindelig handelsgødning (NPK). Risikoen for udvaskning af overskydende næringsstoffer til vandløb, søer og grundvand er betydelig mindre i skoven end i landbruget. I skoven er jorden næsten altid fuldstændig dækket af træer, der bruger vand i vækstsæsonen, der strækker sig fra primo april til ultimo september. Om vinteren dæmpes udvaskningen af det tykke gren- og nålelags evne til at tilbageholde vand.

Omfanget af gødsningen er nærmere beskrevet i afsnit 5.2. Ud over miljøproblemer i forbindelse med udvaskning, kan der peges på energiforbrug med tilknyttede emissioner i forbindelse med fremstillingen af gødningen.

Askespredning

Asken fra flisfyrede varmeværker spredes i et vist omfang i skovene. Herigennem føres næringsstoffer, der oprindeligt blev optaget under træernes vækst, tilbage til skovene.

Tungmetaller

Samtidig tilføres der dog små mængder tungmetaller, som er indeholdt i asken (ref. 6). Også for tungmetallerne gælder, at disse oprindeligt kommer fra træernes vækst i skoven. Spredning af aske på jordbrugsarealer er reguleret efter "Slambekendtgørelsen" (ref. 7). Eftersom tungmetallerne stammer fra træernes vækst, er risikoen for opkoncentrering begrænset til følgerne af, at asken ikke spredes i præcis de samme arealer, som træerne blev høstet i. Der gives da også almindeligvis tilladelse til udbringning af asken på baggrund af en konkret kemisk analyse, idet tungmetalindholdet oftest ligger under de grænseværdierne i ref. 7. Der er dog set eksempler, på akseanalyser, hvor indholdet af Cadmium har overskudet grænseværdien.

Kulturrensning

I bevoksningens tidligste fase anvendes ofte en kratrydder til mekanisk rensning af kulturen for uønskede træarter og ukrudt. I senere faser forekommer bekæmpelse af undervækst. Energiforbrug til disse aktiviteter og tilhørende emissioner vurderes som meget begrænsede sammenlignet med de øvrige processer i træproduktets livsforløb.

Anden kulturpleje

Af andre aktiviteter i bevoksningen kan nævnes: erstatning af udgåede træer fra bevoksningens etablering, jordbundspleje og opkvistning af træer. Ingen af disse aktiviteter har et omfang der berettiger til en særskilt opgørelse af energiforbrug og andre miljøbelastninger.

Tynding

Ved tyndingsindgreb i bevoksningen fældes successivt et antal træer. Produktionsskoven skal tyndes gennem det meste af sin levetid for at sikre, at træerne ved den endelige afvikling af bevoksningen efter 70 til 130 år har udviklet sig til træ med gode egenskaber og høj pris. Tyndingsindgrebene er indeholdt i den nye skovlov. Fra et udgangspunkt på 5-8.000 træer pr.

hektar vil der være 150–225 træer tilbage ved den endelige afdrift af arealet.

Ved de første udtyndinger i løv anvendes kratrydder, mens nåletræer, der i Danmarks oftest er plantede kulturer, hvor træerne står i række, tyndes motormanuelt. Ved senere tyndinger fældes træerne motormanuelt eller mekaniseret. Miljøbelastningen knyttet til selve tyndingsindgrebene er begrænset til emission af kuldioxid, svovldioxid, kvælstofoxider m.m. fra diesel- og benzinmotorer.

Anvendelse af tyndingstræ

Træet, der fældes ved udtyndingen, anvendes til vidt forskellige formål med vidt forskellig værdi. Af anvendelser for tyndingstræet kan nævnes:

- efterlades i skovbunden
- pejsebrænde
- brændsel (skovflis)
- afdækning i bede m.m. (dækflis)
- cellulose
- spånpladefremstilling
- mindre tømmereffekter

De her nævnte muligheder kan ikke betragtes som reelle valgmuligheder i en given situation, idet de alternativer, der i praksis står til rådighed, er bestemt af eksempelvis træarten, teknologianvendelsen ved tyndingsindgrebet, om der er tale om tidlige eller sene tyndinger osv.

Forrådelse

I visse situationer efterlades træ i bevoksningen til forrådelse. Dette kan ske:

- i forbindelse med tyndinger, hvor det ikke anses for økonomisk at oparbejde tyndingstræet til brænde eller til flis,
- ved tyndinger, hvor der savnes afsætning for den mulige produktion af flis eller brænde,
- ved "naturlig udtynding" i bevoksninger, hvor træer går ud som følge af, at de udelukkes fra sollyset af andre individer,
- ved efterladelse af grene, toppe m.m. ved senere tyndinger og ved renafdrift.

Forrådelsen af dette materiale udgør et særligt problem i analysen: Eftersom alternativet til forrådelse, som nævnt i kapitel 2, er defineret som energimæssig udnyttelse, betyder det forhold, at man efterlader brændbart materiale i skoven, at der et andet sted må anvendes fossilt brændsel. Dette brændsel udsender kuldioxid og andre miljøbelastende stoffer til atmosfæren, og det efterladte træ medfører derfor indirekte emission af miljøskadelige stoffer.

Denne konklusion er måske overraskende i lyset af den generelle analyse vedrørende anvendelse af biologisk materiale som brændsel: der sker ingen nettoudsendelse af kuldioxid til atmosfæren, når biologisk materiale anvendes som brændsel. Pædagogisk kan paradokset beskrives således, at potentielt brændsel, der efterlades til forrådelse i skoven, udsender kuldioxid – ikke som følge af den kuldioxidudsendelse, der er en følge af forrådnelsesprocessen, men som følge af, at der et andet sted i samfundet skal brændes kul som erstatning for det tabte brændsel. Argumentationen er uddybet i afsnit 3.12.

Fordeling

Det har selvsagt afgørende betydning for miljøvurderingen, hvorledes man betragter de miljøbelastninger, der knytter sig til tyndingsprodukterne, i forhold til miljøbelastningerne knyttet til produkter fremstillet af træ fra slutafvirkningen eller senere tyndinger. Som beskrevet i kapitel 2 anvendes her det princip, at miljøbelastninger, der vedrører restproduktet, som hovedregel knyttes til hovedproduktet. Der er derfor principielt nødvendigt, at redegøre for tyndingsprodukters og restprodukters anvendelse og miljøbelastninger knyttet til anvendelsen. Som eksempel kan fremdrages det forhold, at flis, der anvendes til afdækning¹⁾, som afledet effekt reducerer forbruget af kemiske bekæmpelsesmidler.

Det vil imidlertid føre for vidt her at gennemføre en komplet analyse af konsekvenserne af alle de her beskrevne anvendelser af produkter og restprodukter fra tyndinger. I stedet må analysen indskrænkes til en beskrivelse af de væsentligste sideeffekter, der kan tilskrives produktionen af hovedproduktet.

3.5 Høst

Motorsave m.v.

Ved fældning af træer forekommer et energiforbrug i form af diesel og benzin i motorer. I forbindelse med dette energiforbrug forekommer udsendelse af kuldioxid, svovldioxid, kvælstofoxider, kulbrinter og partikler. Desuden forekommer der et indirekte energiforbrug til fremstilling af maskiner, køretøjer m.m., der indgår i skovningsarbejdet.

3.6 Transport

Lastbiler m.v.

Ved transport af træ fra skov til træforarbejdende virksomhed forekommer energiforbrug i lastbilmotor samt indirekte ved fremstilling af maskiner, lastbiler m.m. til transportopgaverne.

3.7 Forarbejdning

Generalisering umulig

Forskelligheden i de processer, der gennemføres for at fremstille færdige træbaserede produkter, gør det umuligt at give en generel beskrivelse af de miljømæssige aspekter knyttet til forarbejdningen.

Sprinklerlagring

Vandforbrug finder sted i forbindelse med oversprinklede lagre ved savværker m.v., først og fremmest i sommerperioden. Lagringen indebærer således et forbrug af grundvandsressourcer – et forbrug, der dog søges minimeret gennem etablering af recirkuleringssystemer.

Processer

Af forarbejdningsprocesser, der anvendes i betydende omfang i Danmark kan nævnes:

- savskæring
- tørring
- høvling og anden spåntagning

¹⁾ Flis til afdækning fremstilles i øvrigt sjældent i skovbruget – det meste dækflis kommer fra tyndinger og fældninger i parkforvaltninger o.lign.

Miljøbelastningerne ved disse processer kan opdeles i belastninger, der er knyttet til det tilhørende energiforbrug og arbejdsmiljøproblemer knyttet til produktionen, herunder støj, støv m.m. I mange tilfælde vil de to typer af miljøproblemer være knyttet til de samme faktorer.

Støv

Af arbejdsmiljøproblemerne er støv et af de væsentligste. Det skal påpeges, at træstøv anses for kræftfremkaldende i henhold til miljømyndighedernes officielle liste. Eftersom mængden af støv samt størrelsesfordelingen af partiklerne er vigtige størrelser for problemets omfang, og eftersom mængden af støv fra produktionsprocesserne er bestemt af såvel råvaren som forarbejdningens karakter, er det ikke muligt at generalisere problemets omfang. Der henvises til ref. 8, side 383 ff, hvor spørgsmålet er mere detaljeret behandlet.

Energiforbrug

Procesenergiforbrug i form af varme er ofte fremstillet på virksomheden selv med restprodukter fra produktionen som brændsel. På to danske virksomheder fremstilles endvidere elektricitet til eget forbrug ud fra træbaserede restprodukter. På cellulosefabrikker, som i udlandet aftager en betydelig andel af råtræforbruget - også af dansk produceret træ - fremstilles elforbruget overvejende af restprodukter fra produktionen: bark og sørtlud, som efter inddampning anvendes som brændsel i damp turbineanlæg.

Restprodukter

En meget stor andel af restprodukterne anvendes således til energiproduktion (procesenergi og komfort) på den træforarbejdende virksomhed.

Overskydende spåner og tørt savsmuld forarbejdes i dag til brændselspiller, der anvendes i tidligere kulfyrede fjernvarmeværker. Omsætningen på dette marked er i Danmark i dag ca. 100-120.000 ton årligt. Fremstillingen af træpillerne er forbundet med energiforbrug i form af el til drift af pillepresser. Størrelsen af dette forbrug er ikke uvæsentlig, men dog betydeligt mindre end brændværdien af træpillerne.

Endelig videreføres mange rest- og biprodukter i andre virksomheder til andre typer af træbaserede produkter. Savværksflis (flis fra skaller) sælges enten til celluloseproduktion i udlandet eller til spånpladefremstilling. Spåner anvendes ligeledes i spånpladefremstilling.

Behandling

I den industrielle forarbejdning sker der ofte en behandling af træet med henblik på udseende eller holdbarhed, som har væsentlig betydning ved senere processer, hvor træet slutnedbrydes. Det drejer sig om:

- trykimprægnering
- vakuumimprægnering
- maling, bejdning, lakering
- overfladebelægning (plast m.m.)
- limning

De stoffer, der her påføres træet, har ofte kemiske egenskaber, der medfører miljømæssige problemer i påføringsprocessen eller senere i træets livscyklus. Da påføringen alene sker som en integreret del af fremstillingen af et træbaseret produkt, og da træ og overfladebehandling i praksis ikke kan adskilles, må de miljømæssige forhold knyttet til overfladebehandlingen tilskrives træproduktet som helhed.

Der vil ikke i denne første fase af projektet blive fokuseret yderligere på miljøforholdene knyttet til imprægnering og anden behandling af træprodukterne. Det må imidlertid understreges, at disse forhold har overordentlig stor betydning såvel i produktionsfasen, hvor miljøbelastninger i form af VOC m.m. er vigtig, som i forbindelse med slutomsætning af træproduktet i en forbrændingsproces, jf. resultaterne af analysen i afsnit 3.12 og kapitel 6. I en senere fase af projektet foreslås denne problemstilling derfor behandlet mere detaljeret.

3.8 Forarbejdning og anvendelse af restprodukter

De restprodukter, der fremkommer ved forarbejdningen af træet fra det ankommer fra skoven til det færdige produkt er fremstillet, udgør et særligt problem i analysen af miljøforholdene knyttet til dette specifikke produkt.

Eftersom der er tale om store mængder af restprodukter – råtræudnyttelsen på et savværk, der fremstiller tømmer af hele stammer, ligger omkring 50% – er det afgørende i en analyse af miljøforholdene, at undersøge de miljøforhold, der er knyttet til restprodukterne og deres videre skæbne. Energimæssig anvendelse med fortrængning af andet brændsel er nævnt i afsnit 3.7, men restprodukternes anvendelse og omsætning udgør et bredt spektrum af træbaserede produkter:

- råvare i anden træproduktion
- råvare til cellulosefremstilling
- råvare til spånpladeproduktion
- råvare til fiberpladeproduktion
- brændsel og brænde, anvendt på virksomheden eller solgt til anvendelse andet steds

Fiberpladeproduktionen omfatter en række produkter så som masonit, blød masonit, MDF (Medium Density Fibre Board)¹⁾, HDF (High Density Fibre Board) og formede fiberplader.

Andre miljøforhold

Ud over det egentlige procesenergiforbrug knyttes en række miljøforhold til restprodukterne fra produktionen.

¹⁾ MDF-plader er et forholdsvist nyt produkt, som anvendes primært i møbelindustrien. Pladerne anvendes altovervejende indendørs, da de ikke tåler ophold i varierende luftfugtighed. MDF-pladens fortrin fremfor almindelige spånplader er, at MDF-pladen er homogen i hele pladens tykkelse. Det er muligt at fræse kanterne, og man kan også fræse i MDF-pladers overflade, hvorved der f.eks. kan fremstilles fyldningslåger til køkkener. Der anvendes såvel frisk løv- som nåletræ til fremstilling af MDF-plader. Der stilles ikke særlige krav til råtræet udover, at det normalt skal være afbarket for at sikre færdigvarens kvalitet. MDF-plader fremstilles ved presning af belimet defibreret træmasse. Råtræet afbarkes og flishugges, hvorefter flisen defibreres enten termomekanisk eller ved damptrykekstraktion. Ved en termomekanisk defibrering dampes flisen, og den males mellem to stålskiver. Ved damptrykekstraktion dampes flisen, og den sættes under tryk. Ved en pludselig sænkning af trykket vil flisen sønderdeles som følge af forskellen mellem lufttrykket i flisen og trykket udenfor. Der blandes bindemiddel i den defibrerede træmasse, og den belimede træmasse tørres. Herefter udstros træfibrene i en måtte, og måtten koldpresses. Endelig rettes måtten til i kanterne hvorefter den varme presses. Der anvendes almindeligvis enten ureamelaminlim (til indendørs anvendelse af pladerne) eller fenollim (til udendørs brug). Limtypene er nærmere omtalt i kapitel 6.

3.9 Brug

Generalisering umulig

Miljøbelastninger knyttet til anvendelsen af træproduktet er helt specifik for det enkelte produkt, og kan derfor kun beskrives generelt på enkelte punkter.

Afdunstninger

I almindelighed vil miljøbelastninger knyttet til træproduktet i brugsperioden være af mindre betydning sammenlignet med miljøbelastninger i forbindelse med produktion og bortskaffelse. Af undtagelser kan dog tænkes afdunstning af opløsningsmidler fra overfladebehandling eller limning, samt afskalning af maling, lim el.lign. med spredning af indholdsstofferne til omgivelserne. Mængderne af miljøbelastende stoffer skønnes kun i ganske særlige tilfælde at ville kunne udgøre et problem. Som eksempel kan nævnes spånplader til byggeri, som indtil der blev ændret på limtypen, gav betydelige indeklimaproblemer som følge af afdunstninger af formaldehyd (ref. 9).

Vedligeholdelse

Vedligeholdelse af træprodukter f.eks. med maling hvert 4.- 5. år vil have miljømæssige konsekvenser for den udførende samt eventuelt medføre afdunstninger i den efterfølgende periode. Energiforbrug i denne forbindelse anses for så små, at de normalt kan negligeres.

Tab af tørstof

Kuldioxid vil undslippe fra træprodukter, der i deres brugsperiode udsættes for delvis forrådnelse. Ved nedbrydningen reduceres vægten af træet svarende til den tabte tørstofmængde. Analogt med diskussionen om kuldioxidbalancen ved træ, der efterlades til forrådnelse i skoven i afsnit 3.4, vil det tabte tørstof kunne betragtes som et tabt potentiale til energiproduktion, hvilket medfører, at der andetsteds i samfundet må anvendes mere fossilt brændsel. Delvis nedbrydning i brugsfasen medfører altså frigørelse af kuldioxid.

3.10 Kassation/recirkulering

Generalisering umulig

Ved afslutningen af et træbaseret produkts anvendelse vil der finde miljøbelastninger sted i forbindelse med indsamling og transport, eventuel forarbejdning, sortering m.m.

Miljøbelastningerne er specifikke for hvert enkelt produkt, og beskrives ikke generelt her. En række af de generelle betragtninger, der fremgår af afsnit 3.7 om forarbejdning m.m. vil dog også gælde for processer i forbindelse med at produktet forberedes for en genbrugsanvendelse.

3.11 Gentrug

Som i afsnit 3.7 gælder det, at eventuelle miljøbelastninger knyttet til den fase i et produkts livscyklus, hvor materialet bruges for anden gang, er helt specifikke for den enkelte anvendelse. I øvrigt gælder samme betragtninger vedrørende miljøbelastninger i forbindelse med genbrugsfasen som for brugsfasen (afsnit 3.9).

3.12 Slutomsætning

Endelig kassation

På et tidspunkt i et træfiberbaseret produkts livscyklus vil beslutning om endelig kassation blive taget. I denne situation træffes et valg, om produktets "skæbne" i forbindelse med den endelige omsætning. Enten overlades produktet til slutomsætning i en naturlig nedbrydningsproces eller produktet anvendes som brændsel. I begge tilfælde er slutprodukterne de samme: kuldioxid og vanddamp.

Træprodukt som brændsel

Anvendes produktet som brændsel kan der imidlertid fortrænges andet brændsel, i sidste ende fossilt brændsel med tilhørende emissioner. Når træbaserede produkter anvendes som brændsel fortrænges altså fossilt brændsel, hvorved emissionerne bliver væsentligt mindre, end hvis træproduktet overlades til naturlig forrådnelse.

Det "gode" alternativ i valgsituationen ved slutomsætningen: overlade til naturlig omsætning eller energimæssig udnyttelse i en forbrændingsproces er altså forbrændingen. Dette alternativ er anvendt som reference i denne rapport.

Relevansen af dette valg af reference kan diskuteres yderligere: for at energimæssig anvendelse kan være den bedste reference i analysen, skal to forudsætninger være opfyldt:

Økonomi

For det første skal forbrænding af træbaserede restprodukter som et middel til reduktion af kuldioxidbelastningen i atmosfæren, udgøre et økonomisk attraktivt alternativ til at opnå samme mål gennem *andre* indsatser i samfundet¹⁾. Den samfundsøkonomiske optimering af forskellige indsatser, der er nødvendig konsekvens af denne analyse, ligger uden for rammerne af dette projekt. I analyserne i denne rapport forudsættes det følgelig, at energimæssig udnyttelse af træbaserede affaldsprodukter ud fra en – ikke gennemført – samfundsøkonomisk optimering vil være at finde blandt de teknologier, der må udvælges for at opfylde en nugældende eller fremtidig politisk fastsat målsætning om reduktion af kuldioxidudsendelsen.

Forbrænding mulig?

For det andet skal forbrænding med energimæssig udnyttelse i praksis være gennemførlig. Dette indebærer dels at produktet efter kassationen kan indsamles, eventuelt forbehandles (sønderdeles m.m.) og forbrændes uden praktisk uovervindelige eller miljømæssigt uacceptable problemer. Forbehandling og forbrænding vil almindeligvis kunne gennemføres uden tekniske problemer, idet erfaringerne med fyring med affald, skovflis, industrielt overskudstrø m.m. viser, at de tekniske problemer kan løses. Forudsætningen kan derfor regnes for opfyldt, hvis der kan etableres effektive

¹⁾ Som eksempel på denne tankegang kan nævnes, at hvis kuldioxid-belastningen i atmosfæren ved hjælp af en indsats omkring f.eks. elbesparelser kan reduceres for en lavere samfundsmæssig omkostning end omkostningen ved at bringe træbaserede restprodukter frem til energimæssig udnyttelse, så er elbesparelser ud fra en samfundsøkonomisk synsvinkel at foretrække frem for energimæssig udnyttelse af træbaserede affaldsprodukter.

indsamlingssystemer til restproduktet, og hvis emissionsproblemer i forbindelse med forbrændingen af maling, imprægnering og andre "tilsætningsstoffer" kan løses¹⁾.

Humuslaget

Der kan tænkes at være en modstrid mellem et ønske om bevarelse/opbygning af humus i skovbunden og energimæssig og/eller industriel udnyttelse af træerne. Jo mindre træ man udnytter, jo mere efterlades til forrådnelse og dermed til humuslaget. Men uanset udnyttelsesgraden vil der over en lang tidshorizont (mange omdrifter) indstille sig en balance i humusmængden afhængig af, hvor meget der tages ud. Spørgsmålet om, hvor meget træ man kan tillade sig at tage ud, kan således ikke afklares ud fra en forsimplet bemærkning om, at "så meget som muligt" bør efterlades til dannelse af humus. I stedet afhænger denne økologiske grænse af, hvilket niveau for mængden af humus i skovbunden, der på lang sigt kan accepteres. Eventuelle miljømæssige/dyrkningsmæssige problemer ved reduceret humusmængde skal i denne sammenhæng afvejes mod de miljømæssige fordele (CO₂-balancen), der er ved at tage træ ud til energimæssig anvendelse nu eller senere.

Kulstof på lager eller forbrænding

Lagring/deponering af kulstof

Man kan indvende, at der eksisterer en tredje og bedre valgmulighed (udover overladen til naturlig omsætning og energimæssig udnyttelse), nemlig genanvendelse eller deponering i systemer, hvor der ikke sker nedbrydning af det organiske materiale. Som eksempler på denne "tredje vej" har i debatten været nævnt:

- Ved at genbruge papir fastholdes det bundne kulstof i fibrene, således at udsendelsen af kuldioxid til atmosfæren kan udskydes
- Ved at lade træerne stå længere i skoven (længere omdriftstid) forbliver det bundne kulstof i træet og kuldioxid udsendelsen kan udskydes. Som eksempler på denne tankegang har været nævnt, at man bør plante bøg med 150 års omdriftstid frem for gran med 70 års omdriftstid, eller at energiskov ikke er fordelagtigt for kulstofbalancen, fordi det bundne kulstof frigøres allerede efter en omdriftstid på 3-5 år.
- Ved at lade træ eller træbaserede restprodukter opbevare i omgivelser uden mulighed for nedbrydning (nedfrysning, ekstremt tørre miljøer etc.) undgås, at det bundne kulstof frigøres til atmosfæren som kuldioxid.

"Lagring"

Som fælles betegnelse for sådanne vidt forskellige løsninger anvendes her begrebet "lagring", forstået som en teknik, hvor frigørelsen af organisk bundet kulstof forsinkes i kortere eller længere tid.

Det er nødvendigt at gøre sig klart, at træfiberbaserede produkter, uanset at man gør en stor indsats for at genbruge materialet eller bevare det bundne

¹⁾ For at opfylde forudsætningen vil det i visse situationer være nødvendigt at opstille krav eller rekommandationer vedrørende behandlingen af træet i tidligere faser i livsforløbet, hvis tekniske eller miljømæssige problemer i forbindelse med forbrændingen skal undgås. Endelig kan miljømæssige forhold i visse situationer begrænse mængden af organisk materiale, der kan brændes, f.eks. ud fra betragtninger om bevarelse af humusmængden og/eller næringsstoffer i jorden i land- og skovbrug eller ud fra påviselige miljøforringelser som følge af forbrændingen.

kulstof, på et eller andet tidspunkt vil blive lasseret eller efterladt, hvorefter en slutomsætning finder sted¹⁾.

Nedbrydning forhindres ikke

Lagring vil således kun udskyde tidspunktet for den endelige nedbrydning, ikke forhindre den. Valget mellem naturlig nedbrydning og energimæssig anvendelse skal under alle omstændigheder foretages på et senere tidspunkt. Gennem at lagre materialet forringes mulighederne for senere energimæssig udnyttelse måske: materialet spredes, bliver utilgængeligt, forurenes eller der sker en delvis naturlig nedbrydning, som mindsker den potentielle brændselsmængde.

Sammenligning

Og det at "lægge kulstof på lager" er *ikke* bedre fra en miljømæssig synsvinkel – med vægt på kuldioxid – end en energimæssig anvendelse af produktet. Dette illustreres af eksemplet i tabel 3.1.

Lagring	Forbrænding
Forlængelse af levetiden for det organisk bundne kulstof gennem genbrug, udskydelse af skovning o.lign.	Energimæssig udnyttelse af det træbaserede restprodukt
1 ton træ (tørstof) på lager	1 ton træ (tørstof) fortrænges
0 GJ træbrændsel forbrændes	19 GJ træbrændsel forbrændes
19 GJ kul forbrændes	19 GJ fossilt brændsel fortrænges
19 GJ · 95 kg CO ₂ /GJ = 1,8 t CO ₂ frigives	1 t · 0,5 t C · 3,66 t CO ₂ /t C = 1,8 t CO ₂ frigives

Tabel 3.1

Sammenligning af CO₂-balancen ved lagring af træmateriale, henholdsvis forbrænding af træmateriale. Det forudsættes, at alternativet til "lægge kulstof på lager" er en forbrændingsproces med energiudnyttelse. Den frigjorte mængde kuldioxid ved lagring er beregnet ud fra kuldioxidfrigørelsen ved forbrænding af kul²⁾. Ved forbrænding af træ er kuldioxidmængden beregnet ud fra et kulstofindhold på 50% af træetørstoffet og en kuldioxidmængde på 3,66 kg pr. kg C.

Sammenfattende kan det konkluderes, at der ikke ud fra en kuldioxidbetragtning er nogen argumenter for at vente med at brænde et træbaseret affalds- overskuds- eller restprodukt.

Stabil lagring?

Tværtimod vil det gælde, at "lagring" af træ (i videste forstand inklusive genbrug af træbaserede produkter) kun er ligeværdig med forbrænding,

¹⁾ Ved genanvendelse forringes egenskaberne til stadighed, og genbrug af de samme fibre kan således ikke fortsætte i al evighed. Som eksempel kan betragtes en træbjælke, der ved nedrivning af et hus genanvendes til træflis, der herefter anvendes i spånpladeproduktion, og måske senere i andre fiberprodukter. Selv efter gentagen recirkulation af fibrene vil egenskaberne på et tidspunkt være forringet i en sådan grad, at endelig kassation vil være uundgåelig.

²⁾ Udnyttelsesgraden i de to forbrændingsprocesser er i denne teoretiske sammenligning sat ens, d.v.s. at træbrændsel regnes at kunne fortrænge kul i forholdet 1:1. I praksis vil fortrængningen afhænge af hvilken type anlæg, forbrændingen sker på, hvilket energiform, der anvendes som reference, og hvad virkningsgraderne er på de forskellige anlægstyper, se afsnit 6.2.

hvis lagringen er stabil, således at den samme mængde fibre på et senere tidspunkt kan bringes til energimæssig anvendelse. Ofte vil det være sådan, at en udskydelse gennem f.eks. en af de nævnte former for "lagring" vil forringe mulighederne for at udnytte brændværdien ved slutomsætningen. Som eksempler kan nævnes:

- genbrugspapir ender i affald, der deponeres,
- fibre forsvinder i den våde fraktion ved fremstilling af returpapir,
- træprodukter vil delvist kunne rådne op,
- der tabes masse i skov på vej mod klimaks - forrådnelsen reduceres ved at tage materiale ud.

Tab ved forrådnelse

I kapitel 7 diskuteres skovbrugets muligheder for at reducere tab ved forrådnelse nærmere.

Som to eksempler på konsekvensen af denne analyse kan peges på:

- at genbrug af papir frem for forbrænding af papir ikke giver nogen forbedring af kulstofbalancen i atmosfæren og
- at det ikke hjælper noget på kulstofbalancen at lade træerne få længere omdriftstid i skoven. I denne sammenhæng er den afgørende faktor at fremme produktionssystemer, der over en længere årrække giver højest muligt udbytte målt som tørstof pr. hektar.

Andre miljøforhold

Omvendt kan der være andre miljømæssige fordele forbundet med genbrug eller andre former for lagring, der gør denne løsning attraktiv frem for en øjeblikkelig forbrænding. Men dette gælder kun som en midlertidig løsning. Ved slutomsætningen er forbrænding med energiudnyttelse den miljømæssigt bedste løsning.

3.13 Emissioner og restprodukter

Emissioner

Forskellige restprodukter fra slutomsætningen vil i sig selv udgøre miljøbelastninger, som der kan redegøres for.

Ved forbrændingsprocesser udsendes forskellige gasformige emissioner. De fleste kan knyttes til energiforbruget og bestemmes gennem en opgørelse af energiforbruget sammenholdt med anlægstype osv. Ud over de tre stoffer, der er regnet på i eksemplet i kapitel 6, kan tilsvarende metode anvendes til bestemmelse af andre stoffer.

Data for emissioner ved affaldsforbrænding kan findes i et stort antal referencer. Specielt vedrørende forbrænding af forurenede spildtræ sammen med husholdnings- og andet affald i affaldsforbrændingsanlæg henvises der til ref. 32.

Aske

Fra alle processer, hvor forbrænding indgår, vil der forekomme aske som restprodukt. Det gælder både energimæssig anvendelse af træ på "sidesporet" (f.eks. procesopvarmning på træindustriell virksomhed) som efter slutomsætning f.eks. i et affaldsforbrændingsanlæg.

Asken består af de mineraler, som indgik i træets vækst i skoven. Hertil kommer beskedne mængder af tungmetaller, der ligeledes er optaget under

væksten. Når forbrændingen sker sammen med andre produkter f.eks. i et affaldsforbrændingsanlæg, vil askens egenskaber være bestemt af det blandede produkt. Dette gælder også ved forbrænding af produkter, hvor træet er "forurenet" med andre stoffer (overfladebelægninger, lim, maling etc.).

Også ved naturlig nedbrydning bliver "asken", d.v.s. alle ikke organiske stoffer tilbage. Stofferne bliver enten, hvor de er (affaldsdeponi), eller de kan indgå i naturens kredsløb igen (skovbunden).

Aske fra fyringsanlæg til skovflis (brændselsflis fremstillet af tyndingstræ) spredes i reglen i det skovdistrikt, hvorfra flisen er leveret.

4. Energibalance ved fremskaffelse af træ

4.1 Beregning af energiforbrug og emissioner

Skovbrug et lille trin

Vurderes omsætningen i skovbruget pr. m³ træ i det færdige træprodukt sammenholdt med omsætningen i de øvrige trin i træproduktets livsforløb, er det tydeligt, at skovbruget kun dækker en mindre del af produktets værdi. Dette indebærer, at energiforbruget i de delprocesser, der forløber i skovbruget, har mindre betydning.

Energiforbruget i skovbrugets produktion bestemmes derfor ikke ved hjælp af detaljerede direkte opgørelser over forbrug i f.eks. skovplanteskoler, kratryddere, motorsave, skovningsmaskiner m.m. I stedet bruges input-output-metoden til bestemmelse af det samlede energiforbrug i skovbruget. Tal, beregnet ved hjælp af input-output-metoden, sammenlignes her-efter med andre kilder.

Metode

På basis af priserne for en række sortimenter fra skoven og nøgletallene for energiforbrug i skovbruget efter Appendiks 2, beregnes energiforbruget til fremstilling af sortimenterne.

Priser

I tabel 4.1 er sammenfattet priserne for udvalgte sortimenter fra dansk skovbrug. Handelspriser i skovbruget er sædvanligvis aftalt ved bilfast vej i skoven, idet det er mest almindeligt, at køber arrangerer transporten til f.eks. savværk. I tabellen er anført nettoprisen på rod, som er bestemt ved at trække omkostninger til skovning og terræntransport i skoven fra prisen ved bilfast vej. Handelspriserne er fra ref. 10, skovningsomkostningerne er bestemt efter ref. 11 og omkostninger til terræntransport efter ref. 12.

Sortimenter

Priserne er her valgt for de vigtigste træsorter fra dansk skovbrug: rødgran, bøg og eg. Priserne for de enkelte træsorter varierer meget afhængigt af kvaliteten og anvendelsen. Det er her valgt at anvende priser for bøg og eg for kævler i kvalitetsklasse B og diameterklassen 40 til 49 cm. For rødgran er valgt uafkortet tømmer i kvalitetsklasse B i diameterklassen 21-25 cm. Det vurderes senere i dette afsnit, hvilke konsekvenser det har for beregningerne, at priserne varierer med kvaliteten.

Træart	NPR (Nettopris På Rod) kr/m ³	S & T (Skovning og Terræntransport) kr/m ³	I alt kr/m ³
Bøg	560	49	609
Eg	838	49	887
Rødgran	252	77	329

Tabel 4.1

Priser for udvalgte sortimenter af træ leveret fra skovbruget.

Energiforbrug

Fra tabel 1 i Appendiks 2 hentes nøgletal for energiforbruget pr. mio. kr. i skovbruget. Hermed kan energiforbruget til fremsilling af træet beregnes som det fremgår af tabel 4.2.

Træart	NPR	S & T	I alt
	GJ/m ³	GJ/m ³	GJ/m ³
Bøg	0,142	0,012	0,154
Eg	0,212	0,012	0,224
Rødgran	0,064	0,019	0,083

Tabel 4.2

Energiforbrug i skovbruget til produktion af udvalgte sortimenter.

Energiformer

Af tabellen i Appendiks 2 fremgår det, at ca. 40% af energiforbruget er dieselolie, ca. 22% er el, ca. 11% er benzin, mens resten er fordelt på mange mindre betydningsfulde energiformer.

Emissioner

Emissionerne som følge af energiforbruget beregnes ved hjælp af nøgletallene i tabel 3 i Appendiks 2. Resultaterne er sammenfattet i tabel 4.3.

	NPR			S & T			I alt		
	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Bøg	11,2	0,033	0,055	0,98	0,003	0,005	12,2	0,036	0,060
Eg	16,8	0,049	0,082	0,98	0,003	0,005	17,7	0,052	0,087
Rødgran	5,0	0,015	0,025	1,54	0,005	0,008	6,6	0,019	0,032

Tabel 4.3

Emissioner som følge af energiforbruget i skovbruget til produktion af udvalgte sortimenter.

4.2 Diskussion af metoden

Tre kritikpunkter

Anvendelsen af input-output-metoden på skovbrugets produktion kan diskuteres ud fra 3 vigtige synspunkter:

1. Er handelsprisen – som anvendes i input-output-beregningerne – et godt udtryk for de faktiske akkumulerede omkostninger til fremstilling af træet?
2. Hvilken betydning har den endog meget store variation i priserne for forskellige kvaliteter af træ?
3. Kan man, som ovenstående tal antyder, konkludere, at dyrkning af egetræ er mere forurenende end rødgran?

1. Handelsprisen

For træ som for andre råvarer (eksempelvis kul, olie, gas) kan man anføre, at prisen for produktet snarere er bestemt af efterspørgslen end af de faktiske omkostninger til fremskaffelse af råvaren. Antages det derfor, at in-

put-output-metoden alene reflekterer omkostningerne ved produktionen i den givne erhvervssektor - her skovbrug - er der risiko for, at en beregning baseret på markedspriser vil føre til afvigende resultater.

Men for det første er input-output-metoden, således som den er beskrevet i Appendiks 2, først og fremmest baseret på omsætningen i den givne erhvervssektor, og dermed på handelspriserne. For det andet kan man gå ud fra, at handelspriserne kan betragtes som et absolut maksimum for omkostningerne, der er forbundet med produktion af træet. Hvis skovejeren ikke som minimum får dækket omkostningerne til hugst, terræntransport, rydning af kulturarealet, gentilplantning og kulturpleje så vil han undlade at høste træet. På denne måde kan input-output-metodens resultater betragtes som et maksimum for de faktiske omkostninger, og dermed som et maksimum for energiforbruget i skovbruget. Jævnfør den første indvending kan dette maksimum endvidere betragtes som et rimelig godt bud på det *faktiske* energiforbrug.

2. Varierende kvalitet

Prisen for træet NPR (netto på rod) varierer meget betydeligt for forskellige kvaliteter af den samme træsort. For eg er variationen fra ringeste til bedste kvalitet ca. en faktor 10 for kvaliteter, der kan anvendes i f.eks. møbler, gulve etc. En analyse af disse forskellige kvaliteter efter ovenstående metode, ville vise, at træ med god kvalitet forurener mere end en ringere kvalitet. Selv om man vil kunne påvise enkelte omkostninger ved de gode kvaliteter¹⁾, som vil indebære et ekstra energiforbrug, vurderes det at variationen i pris *ikke* afspejler en tilsvarende forskel i aktiviteter og energiforbrug.

Den faktiske variation i energiforbruget afhængig af kvaliteten lader sig kun vanskeligt bestemme, og det er derfor nødvendigt at indskrænke analysen til en betragtning af gennemsnitlige kvaliteter med gennemsnitlige priser. De her beskrevne kvaliteter er derfor udvalgt således, at de både er typiske for handelen på markedet og samtidig ligger nogenlunde midt i prisspændet.

Man skal herefter gøre sig klart, at der afhængig af dyrkningsform etc. i praksis vil være en variation i energiforbruget til træproduktionen.

3. Forskel mellem træsorter

Kan man ud fra afvigelserne mellem tallene for de tre her nævnte træsorter konkludere, at f.eks. egetræ er mere miljøbelastende end bøg? Eller kan man sige, at gran er bedre end de to løvtræsorter?

Umiddelbart ser det ud til, at produktion af egetræ er forbundet med det største energiforbrug, og at det dermed skulle være det mest miljøbelastende af de 3. Her må det imidlertid vurderes, at input-output-metoden kommer til kort, idet det skønnes, at den vigtigste årsag til den høje pris for egetræ er den bedre træ kvalitet, som bl.a. skyldes længere omdriftstid, lavere tilvækst og vækst på særlig egnede lokaliteter. At prisen for egetræ er højest skal derfor mere ses som et udtryk for en relativt højere betaling for arealanvendelsen end for en større arbejdsindsats, og dermed energiforbrug i dyrkningen.

¹⁾ Eksempler på sådanne omkostninger kan være særlig omhu i kulturplejen, opkvistning, omhyggelig tynding og særlig påpasselighed ved hugsten (f.eks. motormanuel fældning frem for maskinskovning).

Tilsvarende gælder for bøg, der med hensyn til omdriftstid og tilvækst ligger mellem rødgran og eg.

En sammenligning mellem data for de 3 træsorter forstyrres yderligere af det faktum, at en m^3 af den ene træsort ikke umiddelbart kan sammenlignes med en m^3 af den anden, fordi træsorterne har forskellige tekniske egenskaber (vægtfylde, styrke etc.). Alene en korrektion for forskellen mellem vægtfylden for de tunge træsorter (eg og bøg) og den lette (rødgran) vil udjævne hovedparten af den forskel, der er vist i tabel 4.2. Med en rumtæthed for bøg og eg på 590 kg/m^3 og for gran på 390 kg/m^3 bliver energiforbruget til skovbrugets aktiviteter henholdsvis 0,261, 0,380 og 0,213 GJ/t tørstof for eg, bøg og rødgran jf. sidste kolonne i tabel 4.2.

Man kan således ikke på baggrund af den her beskrevne metode konstatere, at dyrkning af en træsort skulle være miljømæssigt ringere eller bedre end en anden.

4.3 Sammenligning med andre data

I kapitel 6 fremdrages data for energiforbruget ved produktion af træprodukter fra 2 kilder.

Dansk kilde

Den danske kilde (ref. 19) indeholder tal for energiforbrug til "Råmaterialer" til træprodukter. Tallet i tabel 6.1 indeholder forbrug til hugst, terræntransport og transport til træindustri, men ikke øvrige aktiviteter tidligere i træets livscyklus. For forskellige træprodukter og forskellige træsorter anføres værdier fra 0,37 til $0,60 \text{ GJ/m}^3$. Tallene gælder pr. m^3 færdig vare, hvorfor der ved sammenligning med tallene i afsnit 4.1 skal korrigeres for skæredbyttets størrelse (m^3 råtræ anvendt pr. m^3 færdig vare). Med et udbytte på 40% svarer ovenstående tal til et forbrug pr. m^3 skovtræ på 0,15 til $0,24 \text{ GJ/m}^3$. Ved sammenligning med tabel 4.2 må det erindres, at tabel 4.2 savner landevejstransporten, mens den danske kilde savner aktiviteter i den tidlige del af træets livscyklus.

Norsk kilde

Den norske kilde (ref. 21) indeholder tal for energiforbruget til hugst, terræntransport, vejbygning og skovkultur. Tallet i figur 6.3 er anført til 66 kWh for 2 m^3 råtræ (til produktion af 1 m^3 limtræ eller 1 m^3 spånplade). Dette svarer til $0,12 \text{ GJ/m}^3$ råtræ, hvilket nogenlunde direkte kan sammenlignes med tallene i tabel 4.2.

Konklusion

Tal for energiforbruget til produktion af træ i skovbruget bekræftes af input-output-metoden og andre kilder at ligge i størrelsesordenen 0,08 til $0,25 \text{ GJ/m}^3$.

På trods af den store spredning i data kan det konstateres (jf. tabel 6.1 og figur 6.3), at det samlede energiforbrug til skovbrugets aktiviteter, kun udgør i størrelsesordenen 1/10 af det akkumulerede energiforbrug i det færdige produkt.

I videre analyse af energibalancen ved fremstilling af træprodukter, bør vægten derfor lægges på at fremskaffe præcise data om det industrielle energiforbrug, den industrielle omsætning af overskudstræ og om energiforholdene i forbindelse med træproduktets slutomsætning frem for en detaljeret analyse af skovbrugets forbrug af olie i motorsave etc.

5. Kvantificering af andre miljøparametre i skovbruget

5.1 Skovbrugets anvendelse af pesticider

Definitioner

Pesticider er fællesbetegnelsen for en række stoffer, der anvendes til at begrænse indvirkningen af angreb af ukrudt, insekter eller svampe på en bevoksning. Midlerne kan efter deres anvendelse inddeles i herbicider (mod uønskede vækster), insekticider (mod insekter) og fungicider (mod svampe).

Fungicider

Fungicider bruges stort set ikke i dansk skovbrug, og forventes ej heller i fremtiden at få nogen betydning. Denne stofgruppe udelades derfor i den videre vurdering af miljøbelastningerne ved træproduktion.

Herbicider og insekticider

Anvendelse af herbicider og insekticider finder sted i betydeligt mindre målestok i skovbruget end i landbruget (ref. 13, ref. 14). Således udgør det samlede forbrug af disse to stofgrupper i skovbrug - inklusive pyntegrøntproduktionen - ca. 0,1% af det samlede forbrug i landbruget.

Mængde

I tabel 5.1 er skovbrugets forbrug af pesticider i 1990 beskrevet. Tabellen er baseret på ref. 15.

Anvendelse	Skovbruget i alt	
	Virksomt stof kg	%
Herbicider		
Pyntegrønt (Velpar, Roundup)	16 000	68
Alm. skovbrug (Roundup)	2 700	11
Herbicider i alt	18 700	79
Insekticider		
Pyntegrønt (Syntetiske pyrethroider)	2 000	8
Alm. skovbrug (Syntetiske pyrethroider)	2 900	12
Insekticider i alt	4 900	20
Forbrug i alt	23 600	99

Tabel 5.1

Forbrug af pesticider i skovbruget i 1987, ref. 15.

Pyntegrønt

Anvendelsen er for ca. 75% vedkommende koncentreret om pyntegrøntproduktionen i skovbruget. Pyntegrøntdyrkningen minder en del om landbrug eller gartneridrift med relativt kort omdriftstid, intensiv arealudnyttelse og stort forbrug af kemiske bekæmpelsesmidler etc. Anvendelsen i pyntegrøntproduktionen er blevet reduceret væsentligt gennem de sidste 10

år, bl.a. som følge af øget miljøbevidsthed og bedre viden om den korrekte dosering. I det almindelige skovbrug har forbruget været nogenlunde konstant gennem de sidste år.

Kulturetablering

I det almindelige skovbrug anvendes kemiske bekæmpelsesmidler næsten udelukkende i forbindelse med etableringen af kulturen, hvilket er en af de vigtigste årsager til den store forskel på skovbrug og landbrug. Mens der i landbruget sprøjtes 2-5 gange årligt, sprøjtes der i skovbruget kun en gang eller ganske få gange i løbet af en omdriftstid på 60-150 år. I tabel 5.2 er illustreret behandlingshyppigheden i land- og skovbrug.

Skovbrug behandlingshyppighed		Landbrug behandlingshyppighed	
Skovplanteskole	2,4	Handlingsplan mål	2,01
Pyntegrønt, anlægsåret	1,0	Landbrug 1989	2,48
Pyntegrønt, kultur	0,3	Vårsæd 1989	2,1
Nål, anlægsåret	1,4	Vintersæd 1997	4,9
Nål, kultur	0,04		
Nål, bevoksning	0,0		
Løv, anlægsåret	0,24		
Løv, kultur	0,06		
Løv, bevoksning	0,0		
Skovbrug i alt	0,03		
Skov i % af landbrug	1,2		

Tabel 5.2

Typiske behandlingshyppigheder i land- og skovbrug. Behandlingshyppigheden er defineret som det gennemsnitlige antal sprøjtninger et givent areal får i løbet af en sæson (et år). Da ikke alle arealer i skovbruget behandles hvert år, er det behandlede areal sat i relation til totalarealet for den pågældende arealtype. Tallene er fra ref. 13.

Skovplanteskoler

Det fremgår, at behandlingshyppigheden i skovplanteskoler er højere end i skovbruget i øvrigt. Men da arealet af skovplanteskoler er lille (i Danmark 20-40 ha mod et samlet skovareal på i størrelsesorden 500.000 ha), har det kun mindre betydning i det samlede billede.

Roundup

Roundup er langt det vigtigste bekæmpelsesmiddel til fjernelse af ukrudt i kulturer, hvor man tidligere gennemførte en betydelig manuel indsats.

Energiforbrug

Energiforbruget til fremstilling af bekæmpelsesmidler og miljøbelastninger forbundet hermed kan skønnes ved hjælp af input-output-metoden. Omkostningerne til kemiske bekæmpelsesmidler udgjorde ifølge ref. 14 ca. 13,5 mio. kr. Med ca. 1/4 af omkostningerne knyttet til almindeligt skovbrug svarer dette i runde tal til ca. 3,4 mio. kr. årligt. Fordeles dette på den årlige hugst på ca. 2 mio. m³ træ fra dansk skovbrug er der tale om ca. 2 kr. pr. m³. Input-output-metoden antyder energiforbruget hertil: 2.-3.000 GJ/mio. kr. (erhvervsgrupperne "Fremstilling af kemiske råstoffer" i tabel 1 i Appendix 2), svarende til 0,003-0,005 GJ/m³. Sammenlignet

med øvrige energiforbrug ved fremstilling af træprodukter (kapitel 6) kan dette forbrug negligeres.

Miljøproblemer

Jordherbicer som Velpar og atrazin (sidstnævnte tillades ikke længere anvendt i skovbrug) optages i planternes rødder. Anvendelsen medfører miljøproblemer først og fremmest i forbindelse med risiko for nedsivning til grundvand, mens stofferne i almindelighed ikke er giftige for f.eks. pattedyr.

Problemerne omkring nedsivning skyldes bl.a., at nogle af herbiciderne er mere eller mindre opløselige i vand. Nedbrydningen i jorden foregår endvidere ganske langsomt – for atrazin angives halveringstider i jordoverfladen på omkring 1 år, mens den i 1 meters dybde er øget til i størrelsesordenen 10 år. I helt iltfattige miljøer bliver halveringstiden meget lang. Insekticiderne nedbrydes i modsætning hertil ganske hurtigt, bl.a. som følge af fotokemiske processer.

Miljøstyrelsen søger at begrænse anvendelsen af de mest miljøskadelige jordherbicer gennem begrænsninger i godkendelserne. Man må derfor forvente, at der i fremtiden vil være færre og færre jordherbicer på markedet.

Tungmetaller

De kemiske bekæmpelsesmidler, der bruges idag, indeholder ikke tungmetaller. Tidligere brugtes en del midler, der indeholdt kobber og andre metaller. Disse midler er enten forbudt eller bruges ikke i dag.

Fremtiden

Anvendelsen af pesticider i skovbruget er i de sidste par år blevet indskrænket gennem begrænsninger i godkendelsen af nogle af de mest udbredte midler (ref. 16). Effekterne af skovbrugets anvendelse af kemiske bekæmpelsesmidler samt udviklingen af nye ikke-kemiske bekæmpelsesmetoder er p.t. genstand for en række undersøgelser, hovedsagelig finansieret af Rådet for Genanvendelse og Renere Teknologi. Projekterne koordineres af Forskningscenter for Skov & Landskab (tidligere Skovteknisk Institut), og der henvises til dette arbejde for en nøjere vurdering af betydningen af skovbrugets anvendelse af kemiske bekæmpelsesmidler.

Formålet med den intensive udviklingsindsats er at reducere miljøbelastningen i forbindelse med skovbrugets anvendelse af bekæmpelsesmidler gennem ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse og udvikling af nye midler med færre miljøproblemer. De nye produkter forventes således at være mere bundne til jordoverfladen, at have kortere nedbrydningsstid og smallere spektrum (mere præcis anvendelse på enkelte arter af uønskede vækster/insekter¹⁾).

Der må dog også fremover forventes et forbrug af kemiske bekæmpelsesmidler i skovbruget – for insekticidernes vedkommende forventes et mindre fald pga. bedre sprøjteteknik (mindre forbrug pr. plante).

¹⁾ Dette forhold kan i sig selv tænkes at betyde et øget forbrug af herbicer.

5.2 Skovbrugets anvendelse af gødning

Hvorfor gødning

Anvendelsen af kunstgødning i skovbruget i Danmark er meget begrænset. I store træk finder anvendelsen sted vest for israndlinjen i Jylland, hvor der på sandede jorder kan være mangel på kvælstof, kalium, fosfor eller kobber.

Førmålet med gødskningen er dels at sikre mod egentlig misvækst som følge af næringsstofmangel, dels at øge træernes tilvækst af hensyn til økonomien i skovdriften. Endvidere tjener gødskningen til at afværge og neutralisere de skader, som den sure regn forvolder på jord og skov.

Mængde

Mængden, der anvendes i skovbruget i Danmark, er ifølge ref. 17 ca. 5.100 ton årligt. Igen er juletræer og pyntegrønt dominerende med et forbrug svarende til ca. 80% af det årlige forbrug i skovbruget.

Mængderne, der årligt anvendes pr. hektar på gødede arealer udgør i størrelsesordenen 1/10 af forbruget pr. hektar i landbruget, og ligesom for pesticidforbruget finder gødskningen i det almindelige skovbrug ikke sted hvert år, men snarere f.eks. hvert ca. 5. år (ref. 14).

Miljøproblemer

Problemerne ved gødningsanvendelsen knytter sig til udvaskning af næringsstoffer. Kvælstoffet findes på vandopløselig form, og "forsvinder" kun fra jordbunden enten gennem planter og træers optagelse eller gennem udvaskning. Eftersom gødningsanvendelsen finder sted på sandede jorder, er muligheden for nedsivning af nitrat og nitrit til grundvandet til stede, med heraf følgende kendte problemer.

Også kalium og fosfor kan udvaskes, dog næppe med så store konsekvenser som kvælstofudvaskningen.

Tungmetaller

Almindelig handelsgødning indeholder en vis mængde Cadmium og andre tungmetaller. Problemet er ikke specielt relateret til skovbruget (jf. sammenligningen af gødningsanvendelsen i henholdsvis landbrug og skovbrug), men der kan i praksis ikke ses helt bort fra tungmetalspredning i forbindelse med anvendelsen af gødning i skovbruget.

Udland

I andre lande er anvendelse af gødning i skovbruget mere udbredt end i Danmark. Således er det f.eks. i Mellem- og Nordsverige almindeligt at gødske i skovbruget.

Energiforbrug

De samlede omkostninger til gødning i skovbruget i Danmark ligger på 10-20 mio. kr. årligt (ref. 17), som hovedsagelig er knyttet til pyntegrøntproduktionen. Efter samme metodik som ovenfor kan energiforbruget til fremstilling af gødning bestemmes. Talstørrelsen bliver ganske lille, hvorfor forbruget kan negligeres i den samlede energibalance ved træfremstilling.

6. Eksempel på sammenlignende analyse

6.1 Metodebeskrivelse

Udvælgelse af eksempel

Som eksempel på en sammenlignende analyse udføres en sammenligning af en limtrædrager og en ståldrager med samme styrkemæssige egenskaber.

Funktionel enhed

Eksemplet er valgt ud fra et ønske om at præsentere to produkter, hvor den "funktionelle enhed" er ens, idet det anses for givet, at en sammenligning kilo for kilo er urealistisk. Der er således søgt et eksempel, hvor det er muligt ud fra entydige kriterier at opstille et krav til egenskaber, der gør de to produkter sammenlignelige. Her er det bjælkens bæreevne, der er givet. Endelig har det været af betydning af vælge et produkt, hvor den årlige omsætning udgør en betydningsfuld andel af den samlede omsætning af træ.

Produktion

Produktionen af limtræ i Danmark ligger på ca. 40.000 m³ årligt; en tilsvarende mængde produceres i såvel Norge som Sverige, mens Finland producerer lidt mindre. Den samlede produktion i Danmark, Sverige, Norge, Finland og Island var i 1991 159.000 m³ (ref. 18). Hovedparten af den danske produktion eksporteres til først og fremmest Tyskland. Til den danske produktion af limtræ anvendes omkring 100.-130.000 m³ råtræ, som kan sættes i forhold til den årlige danske hugst på ca. 2 mio. m³ råtræ i skovbruget i Danmark. Det er dog sædvanligvis ikke dansk råtræ, der anvendes til limtræproduktion.

Hele livsforløbet

Metode

Ved sammenligningen opgøres så vidt muligt energiforbrug i forbindelse med fremstilling, brug og bortskaffelse af de to alternativer jf. den generelle metodebeskrivelse i kapitel 2. Således opgøres også energiforbrug til fremskaffelse af råmaterialer (henholdsvis tømmer og malm/skrot), bearbejdning af råmaterialer (henholdsvis tørring, savning, høvling, limning og smeltning, valsning etc.), transport, brug og bortskaffelse (henholdsvis genbrug/forbrænding og genbrug/recirkulation).

Direkte opgørelser

For de vigtigste processer har det været muligt at finde detaljerede opgørelser af energiforbruget ved fremstilling af de analyserede produkter. Der anvendes således for begge alternativer (afsnit 6.2 og 6.3) hovedsagelig kilder, som opgør det direkte energiforbrug i de gennemførte processer, dvs. *eksklusive* indirekte forbrug til fremstilling af maskiner m.m.

Input-output-metoden

I afsnit 6.5 sammenlignes disse resultater med input-output-metoden, der opgør det globale energiforbrug *inklusive* indirekte forbrug. Forskellene mellem de to metoder diskuteres.

Dimensionering

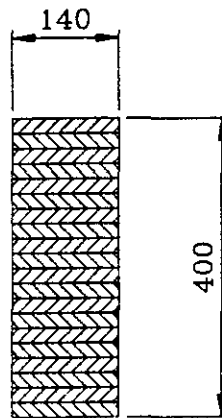
Forudsætninger

Der er valgt en drager som typisk anvendes i et to-etages enfamiliehus med udnyttet førstesal. Dragerlængden (spændet) er sat til 5 meter og nedbøjningen må højst være 1/500 af dragerlængden. Belastningsarealet er sat til 4 m²/lbm drager og belastningen til 4 kN/m².

Mål

Limtrædrager

En trædrager, der opfylder disse betingelser, er f.eks. en limtrædrager HxB: 140 x 400 mm, med en egenvægt på 26 kg/m.



Figur 6.1
Tværsnit af limtrædrager

Brandsikring

Bjælken opfylder de almindelige brandsikringskrav til sådanne bygninger, svarende til BD 30 (branddrøjende i mindst 30 min.). I eksemplet behøver limtræbjælken således ikke at blive inddækket mod brand. Imidlertid er der begrænsninger i limtræbjælkenes anvendelsesmuligheder som følge af generelt forbud mod bestemte anvendelser.

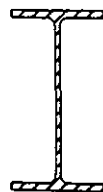
Imprægnering

Drageren vejer i alt 130 kg, hvoraf 3,4 kg udgøres af limen. Der ses bort fra overfladebehandling (maling, imprægnering eller lign.), idet det skønnes at den imprægnering, som ofte udføres på limtrækonstruktioner, er af mindre betydning. I beregningerne er det antaget, at bjælken ikke er imprægneret.

Mål

Ståldrager

Et alternativ til limtrædrageren kan være en stålprofil IPE 240, HxB: 240 X 120 mm, med en egenvægt på 30,7 kg/m.



Figur 6.2
Tværsnit af stålprofil

Brandkrav

Ståldrageren fylder mindre end limtrædrageren, men kræver en beskyttelse for at leve op til de samme brandkrav som limtrædrageren. Brandbeskyttelse kan ske enten ved inddækning f.eks. med gips eller træ eller ved overmaling med "brandmaling", der skummer op og isolerer i tilfælde af brand.

Overfladebehandling

Stålbjælken vil stort set altid – hvis den ikke er malet med "brandmaling" – været malet med korrosionsbeskyttelse og/eller anden overfladebehandling.

Der er i analysen set bort fra såvel brandinddækning som anden overfladebehandling eller korrosionsbeskyttelse.

Ståldragerens totalvægt er 153,5 kg.

6.2 Limtrædrager

Skovdyrkning

Skovdyrkning og hugst

I tabel 6.1 indgår en opgørelse over energiforbruget til "råmaterialer". Dette indeholder jævnfør referencen energiforbruget i form af olie m.v. i forbindelse med træets hugst, men ikke energiforbruget i den tidligere del af træets livscyklus (jvf. beskrivelsen i kapitel 3). Eftersom størrelsesordenen af tallet i tabellen jf. analysen i kapitel 4 er dækkende for det samlede forbrug i skovbruget til fremstilling af råtræet, anvendes tallet for "råmaterialer" i beregningen som udtryk for skovbrugets samlede energiforbrug.

Restprodukter som brændsel

Samtidig er den energiproduktion, der som følge af skovdyrkingen, fremkommer i form af f.eks. skovflis og brænde fra skoven i den tidlige del af træets livscyklus (som jf. metodebeskrivelsen i afsnit 2.6 skal godskrives produktet, dvs. limtrædrageren) næppe indregnet i tabel 6.1. Der kan her være tale om ganske store energimængder, som det dog ikke forsøges at opgøre kvantitativt her.

To kilder

Fremstilling

Der er i litteraturen fundet to opgørelser af energiforbruget ved fremstilling af limtrædragere.

Dansk kilde

Den ene er en 13 år gammel analyse af fremstilling af limtræ i Danmark (ref. 19), som opgør bl.a. det aktuelle specifikke energiforbrug til fremstilling af bygningstræ, hvilket er vist i tabel 6.1.

	Tømmer	Firhøvlet tømmer	Limtræ	Brædder	Karmtræ	Høvlede brædder	Bøgeparket*
Råmaterialer	0,37	0,41	0,64	0,44	0,60	0,51	0,51
Savskæring	0,18	0,18	0,27	0,27	0,25	0,29	0,29
Spåntagning	-	0,04	0,05	-	0,10	0,05	0,10
Spild v. spåntagn.	-	0,07	0,14	-	0,27	0,12	0,24
Tørring***	1,62	2,88	1,62	1,62	2,88	2,88	4,05
Limning	-	-	0,34	-	-	-	-
Øvrigt, komfort	-0	-0	**1,55	-0	0,43	-0	1,34
Imprægnering	0,27	0,27	0,34	0,27	0,34	0,27	-
Bygningstræ	2,17	3,58	4,60	2,33	4,54	3,85	6,53
do. imprægneret***	2,44	3,85	4,94	2,60	4,88	4,12	-
Afskrivning 3%	0,06	0,09	0,12	0,06	0,12	0,10	0,20
Transport	0,36	0,36	0,40	0,36	0,36	0,36	0,29
Bygningstræ i alt	2,59	4,03	5,11	2,75	5,02	4,66	6,98
do. imprægneret***	2,86	4,30	5,45	3,02	5,36	4,57	-

* Oplysninger fra kilde 76.1 i ref. 19

** Oplysninger fra en limtræfabrikant

*** Med imprægneringssalte

**** Professor B. Thunell, STFI, Stockholm, oplyser at lufttørring anvendes i meget begrænset omfang i Sverige og Finland, hvorfra vi hovedsagelig importerer vores bygningstræ. Her er der anvendt tal for kunstig tørring.

Tabel 6.1

Aktuelt specifikt forbrug af primærenergi ved fremstilling af bygningstræ i GJ/m³. Enheden m³ skal her som andre steder i rapporten forstås, således som begrebet almindeligvis anvendes indenfor skovbrug og savværksindustri, som m³ fast træmasse, d.v.s. uden luft mellem træstykkerne. Tabellen inklusive noterne er fra ref. 19 - tallene fra referencen er dog omregnet fra kWh/m³ til GJ/m³.

SBI/i-68

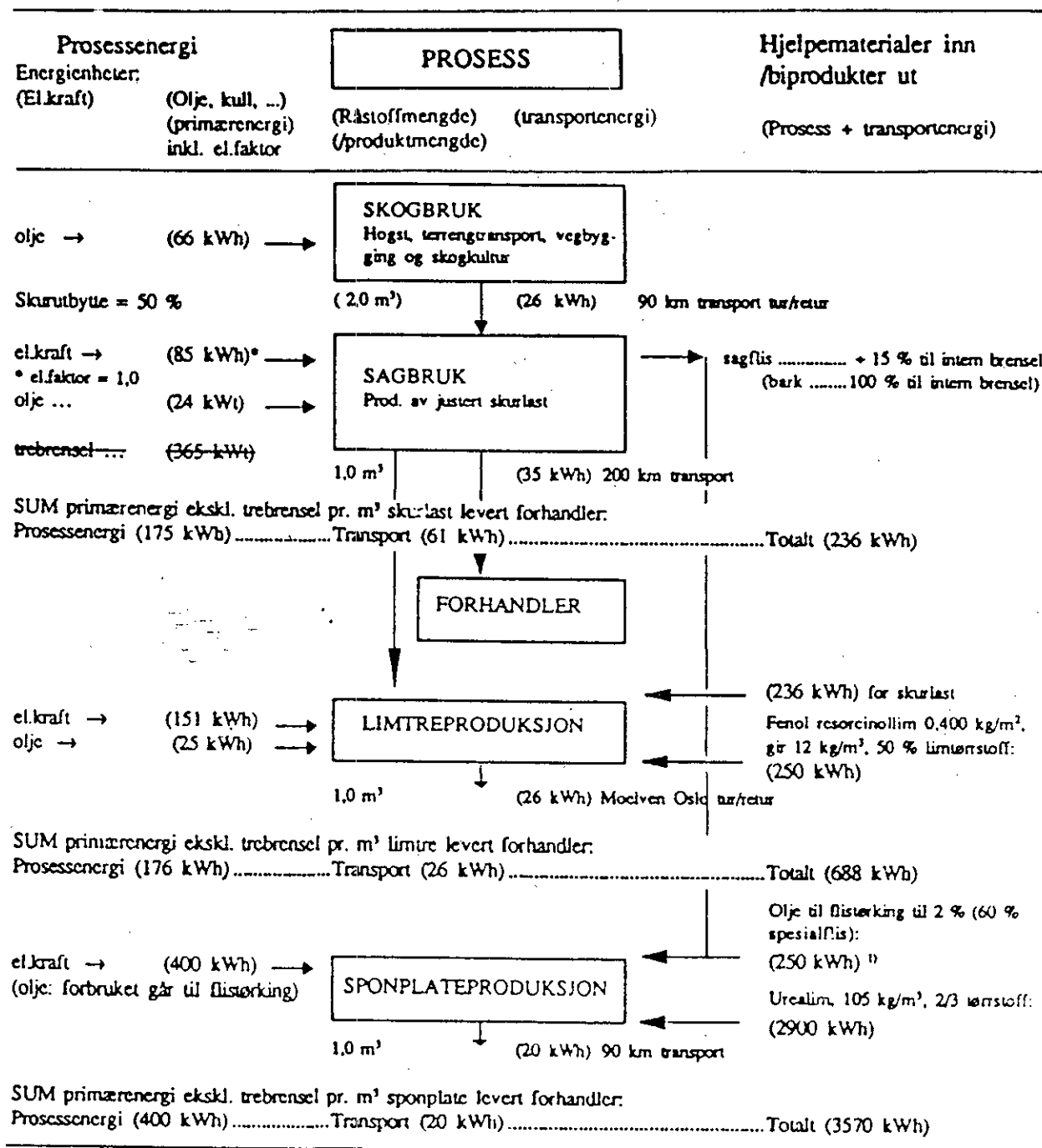
Nye danske tal er ved at blive opgjort i et EFP-projekt med titlen "Energi- og miljøanalyser ved projektering af byggeri" som udføres af Statens Byggeforskningsinstitut og i-68 Rådgivende Ingeniørfirma K/S. Data fra projektet er imidlertid endnu ikke tilgængelige, og tal vil sandsynligvis stadig blive baseret på ref. 19, hvorfor vi er blevet anbefalet at bruge de gamle tal indtil videre (ref. 20).

Energiforbrug

Tabel 6.1 angiver et totalt primær-energiforbrug til fremstilling og transport af limtræ til byggeplads på 5,11 GJ/m³ eksklusive energiforbrug i forbindelse med imprægnering, idet det antages, at bjælken ikke imprægneres. Den analyserede limtrædrager har et volumen på $5 \cdot 0,14 \cdot 0,4 \text{ m}^3 = 0,28 \text{ m}^3$, hvorfor energiforbruget til fremstilling af bjælken bliver 1,43 GJ.

Norsk kilde

Den anden opgørelse er en ny norsk opgørelse af træmaterialers energi- og miljøbelastning fra Norsk Treteknisk Institut (ref. 21). Figur 6.3 viser et eksempel herfra med en procesanalyse ved fremstilling af savværkstømmer, limtræ og spånplader.



Figur 6.3

Eksempel på procesanalyse i den norske opgørelse af træmaterialers energiforbrug og miljøbelastninger fra ref. 21. Energi og miljø ved skovdyrking er ikke medtaget.

Energiforbrug

Den norske analyse angiver et energiforbrug til fremstilling af limtræ og leveret hos forhandleren på 688 kWh/m³ = 2,48 GJ/m³, hvilket med vores limtrædrager bliver til 0,69 GJ. Forskellen mellem den danske og den norske opgørelse skyldes hovedsagelig, at der i den norske opgørelse ikke medregnes energiforbrug til tørring af træet. Dette energiforbrug, der er baseret på træbrensel fra savværkets overskudsprodukter, opgøres særskilt i den norske analyse (figur 6.3) til 365 kWh/m³ eller 1,31 GJ/m³ svarende til 0,37 GJ for bjælken i eksemplet.

<i>Tørring</i>	Råvarer til dansk limtræ er i stort or ifang (størrelsesorden 70%, ref. 22) importeret fra Sverige, hvor træet overvejende tørres kunstigt ved anvendelse af træaffald som energikilde. Den resterende del af træet importeres fra Norge (omkring 20% af råvaren) og resten fra andre lande, heriblandt Finland. Kun en lille andel af råtræet til limtræproduktion er indenlandsk produceret. I Norge synes naturlig tørring (lufttørring) at være lidt mere udbredt end i Sverige, men det synes dog rimeligt i betragtning af den store andel af svensk træ at gå ud fra, at limtræbjælken er produceret af træ, der er kunstigt tørret med træaffald som energikilde.
<i>Sammenligning af kilder</i>	Inklusive tørring bruges der således 1,06 GJ efter figur 6.3 og 1,43 GJ efter tabel 6.1 til fremstilling af den analyserede limtrædrager. I det følgende lægges hovedvægten i analysen på det højeste tal (efter tabel 6.1), idet resultatet – vurderet ud fra de her analyserede kilder – kan betragtes som "worst case". Sideløbende analyseres tal på baggrund af den norske kilde, idet det antages, at der herigennem kan antydes en størrelsesorden på usikkerheden på analysens resultater.
<i>Indpakning</i>	Limtræbjælker pakkes oftest ind i plastic af hensyn til transporten og opbevaringen på byggeplads. Det vurderes dog, at mængderne heraf er så små, at de ikke vil få indflydelse på den samlede miljø- og energibalance.
<i>Transport</i>	Ved transport fra fremstillingsvirksomhed til forbruger regnes der som eksempel med 50 km transportafstand. Der regnes med et transportenergiforbrug på ca. 0,2 kWh/(km·m ³) (figur 6.3), hvilket giver ca. 3 kWh (0,01 GJ) for en enkelt limtrædrager. Dette er helt ubetydeligt i forhold til fremstillingsenergiforbruget – også selv om transportafstanden skulle være væsentligt større end 50 km.
<i>Antages ubetydeligt</i>	<p>Brug</p> <p>I det analyserede tilfælde, hvor limtræbjælken er placeret indendørs, er energiforbruget ved brug begrænset til energiforbrug ved vedligeholdelse af en evt. overfladebehandling. Vi ser bort fra dette bidrag i denne analyse, idet vi antager, at det er ubetydeligt.</p>
<i>Tre alternativer</i>	<p>Bortskaffelse</p> <p>Der er tre alternativer vedrørende bortskaffelse, nemlig genbrug, forbrænding eller deponering. I alle tre tilfælde forudsættes transport i et vist omfang.</p>
<i>Transport</i>	Der ses bort fra energiforbrug ved transport i forbindelse med genbrug, forbrænding eller deponering af træbjælken jf. ovenstående eksempel på transport fra fremstillingsvirksomhed til forbruger.
<i>Genbrug</i>	<p>Ved genbrug forstås her, at bjælken efter evt. afhøvling eller slibning og overfladebehandling anvendes til et lignende formål. Således udskydes blot den endelige bortskaffelse.</p> <p>Man kan tænke sig, at bjælken i stedet sønderdeles til flis eller lignende, og at fibrene herefter kan anvendes til f.eks. spånpladefremstilling. Denne form for materialerecirkulering praktiseres kun i meget begrænset omfang i dag, bl.a. på grund af tekniske begrænsninger i form af sorteringsproblemer, mulige metalgenstande på træet, der ødelægger sønderdelingsmaskiner m.fl.</p>

I eksemplet er det antaget, at bjælken ikke genbruges – hverken i form af andengangsbrug til en bærende konstruktion eller i form af materialelegenbrug til f.eks. spånpladefremstilling. Havde vi i stedet valgt at forestille os bjælken genbrugt, ville dette have betydning for resultaterne, idet energiforbrug og miljøbelastning i givet fald skulle fordeles mellem de successive forbrugere efter princippet omtalt i afsnit 2.6. Miljøbelastningerne ved produktets fremstilling skulle således fordeles efter levetiden hos den enkelte forbruger i forhold til det endelige tidspunkt for slutomsætningen.

Forbrænding

Ved forbrænding antages det, at der sker en energimæssig udnyttelse ved forbrændingen, jf. afsnit 3.12. Forbrændingsvarmen bruges altså til (el- og) varmeproduktion, og fortrænger således fossilt brændsel. Limtrædragere vejer 130 kg, hvoraf limen udgør 3,4 kg (12 kg/m^3 , figur 6.3). Brændværdien udgør således:

$$126,6 \text{ kg} \cdot 16 \text{ MJ/kg} + 3,4 \text{ kg} \cdot 40 \text{ MJ/kg} = 2,16 \text{ GJ},$$

idet vandindholdet i træet sættes til 12% (af totalvægten) og brændværdien af træet hermed til 16 MJ/kg ($18,5 \text{ MJ/kg}$ for træetørstoffet). Den samlede brændværdi udgør $16,62 \text{ GJ/t}$.

Energien i bjælken i form af træets brændværdi, når den efter kassation kan ende i et forbrændingsanlæg, er altså større end det akkumulerede energiforbrug til fremstilling, transport m.m. i bjælken.

Det har dog afgørende betydning for det samlede energi- og miljøregnskab, *hvordan* bjælken anvendes til energi, herunder hvilken form for energi, der fortrænges, og hvilken virkningsgrad brændslet udnyttes med. Typisk vil den egentlige energimæssige "værdi" af bjælken være mindre end den beregnede brændværdi, fordi affaldsforbrændingsanlæg i dag udnytter brændslet med en lavere virkningsgrad end de anlæg, hvor energiproduktion fortrænges som følge af en marginal forøgelse af affaldsforbrændingen.

Forbehandling

Forud for indfyring på risten i et affaldsforbrændingsanlæg eller andet forbrændingsanlæg må bjælken sandsynligvis sønderdeles. Energiforbruget hertil udgør erfaringsmæssigt i størrelsesorden 1–3% af brændværdien (ved flishugning af tyndingstræ til brændselsflis, ref. 5), hvorfor det udelades i den fortsatte analyse.

Forbrænding af limen

Forbrænding af limen kan tænkes at give anledning til miljøproblemer. Der anvendes i dansk produceret limtræ langt overvejende to typer af lim: Fenol Resorcinol Formaldehyd lim (FRF) og Urea Melamin Formaldehyd lim (MUF) med en fordeling af markedet på ca. 80% til FRF. Ved en god forbrænding, d.v.s. under passende høje temperaturer og med passende opholdstid f.eks. i et efterforbrændingskammer, vil der primært dannes kuldioxid og vand ved forbrændingen af disse to limtyper. Under ringere forbrændingsbetingelser er der mulighed for dannelse af f.eks. CO, PAH m.fl. Dannelsen af disse stoffer kan tilskrives ringe betingelser for forbrændingen og kan ikke belastes limen. Hverken FRF eller MUF indeholder klor eller svovl, og der er således ikke grund til at antage at forbrændingen skulle føre til dannelse af stoffer som svovldioxid, saltsyre, dioxiner m.fl. MUF indeholder imidlertid betydelige mængder kvælstof, hvilket i forbindelse med forbrænding giver mulighed for dannelse af kvælstofoxider, lattergas, frit kvælstof samt eventuelt cyanid. Mængderne og for-

delingen mellem kvælstofforbindelserne kan ikke umiddelbart skønnes på forhånd (ref. 23).

Bjælken kan tænkes at være blevet imprægneret, malet eller lakeret. De miljømæssige problemer knyttet til forbrænding af imprægnering, maling eller lak vil være stærkt afhængige af den anvendte type af overfladebehandling og af forbrændingsbetingelserne. Der ses i det følgende bort fra miljøbelastninger i denne forbindelse, ligesom der er set bort fra energiforbrug i forbindelse med den oprindelige behandling.

Deponering

Deponeres den udtjente limtrædrager, omsættes trædelen til kuldioxid og vand, mens limen formodentlig kun nedbrydes langsomt. Ved deponering går man glip af den energimæssige udnyttelse svarende til limtrædragerens brændværdi (2,16 GJ).

Anvendte energikilder

Ved vurderingen af stofemissioner forårsaget af limtrædragerens fremstilling, brug og bortskaffelse er det nødvendigt at kende til dels de energikilder og anlægstyper, der har stået for energiforsyningen i dragerens livsforløb, dels de brændsler og anlægstyper, der fortrænges ved energimæssig udnyttelse af trædragerens brændværdi. Af de tidligere nævnte kilder kan det udledes hvilke energikilder, der har været tale om i de to tilfælde. Tabel 6.2 og 6.3 viser, hvordan energikilderne fordeler sig i henholdsvis den danske og den norske kilde.

Brændværdi og faktisk energi

Værdien $-6,02 \text{ GJ/m}^3$ ved bortskaffelse svarer til $-1,69 \text{ GJ}$ for den betragtede bjælke. Sammenligner vi dette med den tidligere beregnede brændværdi på $2,16 \text{ GJ}$, kan det konstateres, at den energimæssige "værdi" af bjælken er 20–25% lavere end den "rå" brændværdi. Forskellen skyldes bedre brændselsudnyttelse i de anlæg, som affaldsforbrændingen erstatter.

I den danske kilde er tallet for dieselolieforbrug ved hugst m.m. gældende for dansk skovbrug, mens den norske kilde tilsvarende gælder norsk skovbrug. Træet til limtræfremstillingen kommer som tidligere nævnt hovedsagelig fra Sverige. Det antages, at de her anførte tal også vil være gældende for svensk skovbrug.

LIMTRÆSDRAGER: Dansk kilde, reelt brændselsmix

GJ/m ³	kul (5)	fuelolie	diesel	gas	træ	vand.(4)	kerne.	I alt
- hugst (DK)				0,64				0,64
Fremstilling								
- savværk (Svensk) (1)					1,62	0,14	0,14	1,89
- limtræsfabrik (Dansk) (2)								
heraf: -limning	0,62			0,31	1,14			2,08
-afskrivning	0,06	0,03	0,02	0,01				0,12
-transport			0,40					0,40
Brug								0,00
Bortskaffelse (3)	-6,06		0,04					-6,02
I alt	-5,38	0,03	1,09	0,32	2,76	0,14	0,14	-0,89

- 1) Det antages, at tørring hovedsagelig foregår på savværket, mens spåntagning, spild, limning og øvrig komfort foregår hos den danske limtræfabrikant.
- 2) Limning, spåntagning, komfort m.v. antages at være forsynet med et brændselsmix svarende til erhvervsgruppen "Træbearbejdning" i tabel 1 i Appendix 2. Dette indebærer ca. 15% gas, 30% el og 55% træ, hvor brændselsmix til elproduktion er angivet til 93% kul, 5% olie og 2% naturgas. Afskrivning antages svarende til erhvervsgruppen "Industrimaskiner" i førnævnte tabel.
- 3) Træet regnes afbrændt på et affaldsfyret kraftvarmeværk med en elvirkningsgrad på 20% og en varmeevirkningsgrad på 57%. Den producerede el fortrænger el fremstillet på et kulfyret kondensationsværk med en elvirkningsgrad på 40%, jf. bilag 1. Den producerede varme fortrænger fjernvarme produceret på et centralt kulfyret kraftvarmeværk med en varmeevirkningsgrad på 200%¹⁾. Der er brugt data fra ref. 24 til fastlæggelse af denne størrelse.
- 4) Beregnet som primærenergi, d.v.s. reelt en faktor ca. 2,9 mindre i direkte elforbrug.
- 5) Kun kul til elproduktion (af betydning for emissionsværdier).

Tabel 6.2

Energiforbrugets fordeling på energikilder for den danske kilde²⁾. Der er så vidt muligt taget hensyn til hvor energiforbruget er forekommet, d.v.s. om det er i Danmark eller Sverige. Således antages elforbrug på savværket at stamme fra 50% vandkraft og 50% kernekraft, som tilfældet er i Sverige. Bemærk enheden GJ/m³.

¹⁾ Kraftvarme er en væsentlig substitutionskilde til varme fra affaldsforbrændingsanlæg. Ved fortrængning af kraftvarme regnes her med, at alene det marginale brændselsforbrug til varmeproduktion på kraftvarmeværket fortrænges. Dette brændselsforbrug kan beregnes ud fra tal for den danske elproduktion i 1991. Med et samlet brændselsforbrug på 338 PJ produceredes 119 PJ el og 62 PJ varme. Elvirkningsgraden var således ca. 35%. Uden varmeproduktion ville elvirkningsgraden imidlertid have andraget 39%, og varmeproduktionen er da fra en marginal betragtning produceret ud fra 4/39 af det samlede brændselsforbrug eller ca. 35 PJ. En produktion på 62 PJ ud fra et brændselsforbrug på 35 PJ svarer til en virkningsgrad på 177%. Der er her afrundet til 200%.

²⁾ Der er som nævnt her regnet med, at produceret elektricitet ved affaldsforbrændingen fortrænger kulbaseret el, med en virkningsgrad på 40% (jf. bilag 1). Denne værdi afviger fra den i ref. 25 (side 50) anvendte værdi på 30%. Forskellen indebærer en mindre favorisering af stillet, men forskellen vurderes at være så lille, at en ændring af tallene fra referencen ikke er berettiget.

LIMTRÆSDRAGER: Norsk kilde

GJ/m ³	kul	fuelolie	diesel	gas	træ	vand.(4)	kerne.	I alt
- hugst + transport			0,33					0,33
Fremstilling								
- savværk (Svensk) (1)		0,09	0,13		1,31	0,44	0,44	2,41
- limtræsfabrik (Dansk)								
heraf: - spåntagn. m.m.	0,54							0,54
- limfremstilling (2)	0,49	0,32	0,06	0,03				0,90
- transport			0,09					0,09
Brug								
Bortskaffelse (3)	-6,06		0,04					-6,02
I alt	-5,03	0,41	0,65	0,03	1,31	0,44	0,44	-1,74

- 1) Det antages, at tørring hovedsagelig foregår på savværket, mens spåntagning, spild, limning og øvrig komfort foregår hos den danske limtræfabrikant. Transport er inkluderet.
- 2) Det antages, at brændselsmixet ved limfremstilling svarer til erhvervsgruppen "Kemiske råstoffer" i tabel 1 i Appendiks 2.
- 3) Træet regnes afbrændt på et affaldsfyret kraftvarmeværk med en elvirkningsgrad på 20% og en varmevirkningsgrad på 57%. Den producerede el fortrænger el fremstillet på et kulfyret kondensationsværk med en elvirkningsgrad på 40%, jf. bilag 1. Den producerede varme fortrænger fjernvarme produceret på et centralt kulfyret kraftvarmeværk med en varmevirkningsgrad på 200%, jf. fodnote ved tabel 6.2.
- 4) Beregnet som primærenergi, d.v.s. reelt en faktor ca. 2,9 mindre i direkte elforbrug.

Tabel 6.3

Energiforbrugets fordeling på energikilder for den norske kilde.

Forskellige energikilder

Det fremgår af tabel 6.2 og 6.3, at fordelingen på energikilder ikke er ens. Det skyldes formodentlig flere årsager. Dels er den danske kilde 10 år ældre end den norske, og man må derfor formode at energieffektiviteten er forbedret siden da (hvilket også passer med at energiforbruget er mindre). Dels er energiforbruget til fremstilling af drageren ikke helt ens opgjort, idet der i den danske kilde i modsætning til den norske er medtaget afskrivning af produktionsudstyret, mens den norske kilde derimod har energiforbrug til limfremstilling med. Endelig er der i den danske opgørelse brugt el og træbrændsel (spildtræ og spåner) på limtræfabrikken, hvor den norske kilde bruger el og olie. Hvorvidt der reelt bruges træbrændsel på limtræfabrikken er i virkeligheden ikke så afgørende. Faktum er, at der ved limtræproduktion produceres spildtræ i en størrelsesorden svarende til ca. 30% af det færdige limtræ's volumen. I de tilfælde, hvor det ikke anvendes som brændsel på fabrikken, sælges det som oftest enten til fremstilling af andet træbrændsel (træpiller), eller som råmateriale til andre træprodukter. Det kan f.eks. være spånplader, som efter brug til sin tid kan brændes og derved fortrænge fossile brændsler.

Meget energiforbrug er træ

Det er interessant at konstatere, at der jf. begge kilder anvendes en stor andel af træ (affaldstræ) som energikilde ved fremstillingen af det egentlige træprodukt. Når der ses bort fra slutomsætningen, drejer det sig efter den danske kilde om 54% af det samlede energiforbrug og efter den norske om 31%.

En vigtig konklusion er, at der i en limtrædraggers livsforløb totalt set fortrænges en hel del kul, som i høj grad erstattes af træbrændsler. Der bruges desuden andre fossile brændsler, som dog udgør mindre end halvdelen af brændværdien i den fortrængte kulmængde.

Samlet energiforbrug

Afhængig af slutomsætning bliver det samlede energiforbrug ved anvendelse af den analyserede limtrædrager som vist i tabel 6.4.

Slutomsætning	Hugst, fremstilling, brug GJ	Bortskaffelse GJ	Samlet energiforbrug GJ
Forbrænding (reference)	1,43	- 1,69	- 0,26
Deponering	1,43	0,00	1,43

Tabel 6.4

Totalt energiforbrug ved brug af limtrædrager (vægt 130 kg) afhængig af den valgte slutomsætning.

6.3 Ståldrager

Fremstilling

Energiforbrug

Energiforbruget til fremstilling af stålemner (inkl. malm brydning etc.) er blevet analyseret af IPU for Miljøstyrelsen (ref. 25). For valset stål, herunder stålprofiler, er angivet flere tal afhængig af graden af recirkuleret skrot, nedvalsningsgrad, udnyttelsesgrad (afskæring sendes tilbage til ovnen), ovntyper m.m. I tabel 6.5 er angivet to typiske værdier.

Oprindelse	Recirkulationsgrad	Udnyttelsesgrad	Primær energiforbrug
Valseværk midt 70'erne	46%	70%	9.220 kWh/ton = 33,19 GJ/t
Det Danske Stålvalseværk i dag	85%	85%	3.392 kWh/ton = 12,21 GJ/t

Tabel 6.5

Typiske energiforbrug ved fremstilling af stålprofiler.

Som det ses af tabel 6.5 er der en betydelig variation i værdierne for energiforbruget.

Diskussion af tallene

Ståldrager af den analyserede type til byggeri i Danmark fremstilles ikke på Det Danske Stålvalseværk (DDS). Importeret stål kan være fra udenlandske værker med en standard svarende til det høje tal. Imidlertid må anses det for sandsynligt, at tallene for udenlandsk stål vil ligge nærmere på DDS's tal - bl.a. fordi udnyttelsesgraden er større når produktionen er store stålprofiler. Skrot-andelen for udenlandsk stål vil dog være lavere end DDS's tal - for EF som helhed er den gennemsnitlige skrotandel i stålproduktionen 46% (ref. 26).

I den følgende sammenligning anvendes tallene fra DDS, hvilket bl.a. indebærer, at stålbjælken antages at være produceret af stål, der hovedsagelig er recirkuleret. Det er nødvendigt at gøre sig klart, at der for stål fra forskellige leverandører kan gælde væsentligt anderledes tal, og at det er sandsynligt, at tallene er højere, end de her anførte.

Samlet energiforbrug

Det analyserede alternativ, ståldrageren, vejer i alt 153,5 kg, hvilket således giver et energiforbrug til fremstilling af drageren på 1,87 GJ (5,09 GJ med det høje tal for energiforbrug ved stålfremstilling).

Andre miljøbelastninger

Stålproduktion regnes i almindelighed for at være meget miljøbelastende. Emissionerne fra produktionen omfatter blandt andet bly, cadmium, kviksølv, polycykliske aromatiske kulbrinter, clorphenoler, clorbenzener, dioxiner og nikkel (ref. 27 og 28). Disse emissioner er alle enten toksiske, bioakkumulerbare eller ikke-bionedbrydelige og er generelt uønskede i miljøet (ref. 29).

Ubetydeligt energiforbrug

Brug

Ligesom for limtrædrageren er energiforbruget ved brug begrænset til energiforbrug ved vedligeholdelse af en evt. overfladebehandling, og vi vil således også her se bort fra dette energiforbrug.

Bortskaffelse

Efter endt anvendelse i en bygning kan man forestille sig at bjælken enten genvendes i sin form, recirkuleres via skrothandlere eller deponeres.

Transport

Uanset bortskaffelsesmetoden, vil der forekomme et vist energiforbrug til transport. Som for limtrædrageren kan det beregnes, at det for transportafstande op til i hvert fald 100 km – typisk afstand for skrottransport til DDS – kan negligeres.

Genbrug

Hvis bjælken flyttes til anvendelse i en anden konstruktion, vil energiforbruget være ganske lille sammenlignet med forbruget til den oprindelige fremstilling af bjælken. Der skal i dette tilfælde foretages en forholdsmæssig fordeling af "miljøgælden" mellem brugerne af bjælken jf. diskussionen i afsnit 6.2.

I det følgende regnes der med, at bjælken efter endt førstegangsbrug recirkuleres via skrothandlere. Dette må anses for det mest sandsynlige i lyset af den håndtering af skrot, der er almindelig i dag samt den høje andel af recirkulation på DDS.

I den forbindelse kan det selvfølgelig diskuteres, om energiforbruget i forbindelse med bjælkens omsmelting – og de tilhørende miljøbelastninger – skal beskrives som hørende til "fremstilling" eller "recirkulering". Her er valgt "fremstilling", men valget er uden betydning for beregningen af den miljøbelastning, der knyttes til den givne bjælke.

Deponering

Der er ingen kendte energimæssige konsekvenser af betydning ved deponering af stålskrot. Eventuelle problemer i forbindelse med nedbrydningen af bjælken eller overfladebehandlingen er ikke kendt.

Miljøbelastninger

Anvendte energikilder

Ligesom for trædrageren foretages en opdeling af energiforbruget på brændsler og energikilder med henblik på en detaljeret vurdering af de miljøbelastninger, der knyttes til energiforbruget.

Af de tidligere nævnte kilder kan det vurderes hvilke energikilder, der er tale om i de to tilfælde. Tabel 6.6 og 6.7 viser hvordan energikilderne for-

deler sig på henholdsvis et moderne værk som Det Danske Stålvalseværk og det tænkte stålvalseværk af ældre dato.

STÅLDRAGER fra DS

GJ/ton	kul	fuelolie	diesel	gas	træ/halm	vandkr.	kerne.	I alt
Lysbueovne (1)	9,13							9,13
Valseværker (1)	0,72			2,97				3,69
Kølevand til fjernvarme (2)					-0,70			-0,70
Brug								0,00
Bortskaffelse								0,00
I alt	9,85	0,00	0,00	2,97	-0,70	0,00	0,00	12,11

- 1) Elproduktionen foregår på et kulfyret kondensationsværk med elvirkningsgrad på 40%, jf. bilag 2.
- 2) Overskudsvarme fra stålvalseværket leveres til Frederiksværk Fjernvarme, hvor der fortrænges halmfyret fjernvarme med en virkningsgrad på 86%.

Tabel 6.6

Energiforbrugets fordeling på energikilder for et moderne stålvalseværk. Afvigelse fra tabel.6.5 skyldes indregning af virkningsgrader i energiom-sætningen. Bemærk enheden GJ/ton.

STÅLDRAGER fra valseværk fra midt 70'erne

GJ/ton	kul	fuelolie	diesel	gas	træ	vandkr.	kerne.	I alt
Fremstilling:								
Siemens-Martin ovn + udstøb	27,85							27,85
Valseværker (1)	2,09	3,24						5,33
Brug								0,00
Bortskaffelse								0,00
I alt	29,94	3,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,18

- 1) Elproduktionen foregår på et kulfyret kondensationsværk med elvirkningsgrad på 40%, jf. bilag 2.

Tabel 6.7

Energiforbrugets fordeling på energikilder for et stålværk af lidt ældre dato. Afvigelse fra tabel 6.5 skyldes indførelsen af virkningsgrader i ener-giomsætningen. Bemærk enheden GJ/ton.

Energikilder

Tabellerne viser at energikilderne i begge tilfælde domineres af kul til el-produktion. Der udvindes ikke - som ved træbjælken - energi ved bort-skaffelsen.

Samlet energiforbrug

Det samlede energiforbrug ved brug af ståldrageren på 153,5 kg bliver så-ledes 1,86 GJ.

6.4 Sammenligning af de to alternativer

Energiforbrug

Tabel 6.8 viser energiforbruget i de to alternativer.

Alternativ	Bortskaffelsemetode	Energiforbrug i livsforløbet GJ	Interval GJ
Limtrædrager	Forbrænding	-0,26	-0,49 til - 0,26
Ståldrager	Recirkulering	1,86	1,86 til - 5,09

Tabel 6.8

Sammenligning af energiforbrug ved brug af alternativerne limtrædrager og ståldrager. Kolonnen "Interval" antyder den spredning, der er på sammenligningen afhængig af, hvilke tal fra de forskellige kilder, der anvendes.

Forskel i energiforbrug

Det fremgår af tabellen, at der er en forskel på 2,12 GJ mellem de to alternativer.

Miljøbelastninger

De resulterende miljøbelastninger ved stofemissioner fra energiforsyningen kan estimeres ud fra kendskabet til de anvendte energikilder og tilhørende emissionsfaktorer. Emissionsfaktorerne er angivet i tabel 6.9 (fra Appendiks 2, tabel 2).

Emissionsfaktorer:

kg/GJ	kul	fuelolie	diesel	gas 1)	træ	vand.	kerne.
CO ₂	95	80	75	60	0	0	0
SO ₂	0,58	0,50	0,09	0,00	0,13	0,00	0,00
NO _x	0,20	0,15	0,52	0,10	0,13	0,00	0,00

1) Gennemsnit for naturgas og anden gas (LPG, raffinaderigas m.m.).

Tabel 6.9

Emissionsfaktorer til brug ved vurdering af den resulterende miljøbelastning.

Udvælgelse af parametre

Der er i denne analyse valgt kun at medtage de tre stoffer, der almindeligvis vurderes som vigtigst i denne sammenhæng, nemlig kuldioxid (CO₂), svovldioxid (SO₂) og kvælstofoxider (NO_x). For overskuelighedens skyld er tungmetaller ikke medtaget, selv om de også kan være relevante i denne sammenhæng. Som nævnt i Appendiks 2 er det relativt enkelt med den anførte metode, at analysere for andre energibetingede miljøparametre.

Tabel 6.10 og 6.11 viser de resulterende emissioner for de fire analyserede tilfælde.

Emissioner i limtræsdragers livsforløb: (volumen: 0,28 m³) Dansk kilde

kg	kul	fuelolie	diesel	gas	træ	vand.	kerne.	I alt
CO ₂	-143	1	23	5	0	0	0	-114
SO ₂	-0,87	0,00	0,03	0,00	0,10	0,00	0,00	-0,74
NO _x	-0,30	0,00	0,16	0,01	0,10	0,00	0,00	-0,03

Emissioner i limtræsdragers livsforløb: (volumen: 0,28 m³) Norsk kilde

kg	kul	fuelolie	diesel	gas	træ	vand.	kerne.	I alt
CO ₂	-134	9	14	0	0	0	0	-111
SO ₂	-0,82	0,06	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00	-0,70
NO _x	-0,28	0,02	0,09	0,00	0,05	0,00	0,00	-0,12

Tabel 6.10

Resulterende emissioner i limtrædragerens livsforløb, på grundlag af den danske, henholdsvis den norske kilde.

Emissioner i ståldragerens livsforløb: (vægt: 0,154 ton) DS

kg	kul	fuelolie	diesel	gas	træ	vand.	kerne.	I alt
CO ₂	144	0	0	27	0	0	0	171
SO ₂	0,88	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,86
NO _x	0,30	0,00	0,00	0,05	-0,01	0,00	0,00	0,33

Emissioner i ståldragerens livsforløb: (vægt: 0,154 ton) 70'erværk

kg	kul	fuelolie	diesel	gas	træ	vand.	kerne.	I alt
CO ₂	437	40	0	0	0	0	0	476
SO ₂	2,67	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91
NO _x	0,92	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99

Tabel 6.11

Resulterende emissioner i ståldragerens livsforløb, for en drager fra et moderne stålværk, henholdsvis fra et stålværk af ældre dato.

Forskel i miljøbelastninger

To forhold får afgørende betydning ved sammenligning af tabel 6.10 og 6.11. Dels har kulforbruget meget stor betydning, idet der er knyttet væsentlige emissioner af både CO₂, SO₂ og NO_x til afbrænding af kul. Dels er træ som brændsel meget fordelagtigt r. h.t. CO₂-emission og rimelig miljøvenligt m.h.t. SO₂ og NO_x. Disse to forhold gør, at brug af limtrædrageren over livsforløbet faktisk giver anledning til en *reduktion* af de resulterende emissioner på 114 kg CO₂, 0,74 kg SO₂ og 0,03 kg NO_x. Ståldrageren derimod, giver i sit livsforløb anledning til *positiv* emission af mindst 171 kg CO₂, 0,86 kg SO₂ og 0,33 kg NO_x. For CO₂-emissionen's vedkommende er der således en *forskel* på 200 kg eller mere ved at vælge en ståldrager fremfor en limtrædrager.

Tabel 6.12 viser de resulterende emissioner, der modsvarer energiforbruget i tabel 6.8.

Alternativ	Bortskaffelses- metode	Emissioner i livsforløbet kg			Intervaller kg		
		CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x
Limtrædrager	Forbrænding	-114	-0,74	-0,03	-114 til -111	-0,74 til -0,70	-0,12 til -0,03
Ståldrager	Recirkulering	171	0,86	0,33	171 til 476	0,86 til 2,91	0,33 til 0,99

Tabel 6.12

Resulterende emissioner for de to sammenlignede alternativer. Emissionerne svarer til energiforbrugene i tabel 6.8. Intervallerne antyder den spredning, der kan konstateres; for træbjælkens vedkommende, når man anvender data fra to forskellige kilder, for stålbjælkens vedkommende, når man anvender data svarende til Det Danske Stålværk i dag (den lave værdi) og et ældre stålværk (den høje værdi).

Biprodukter ikke medregnet

Der er i beregningerne ikke taget hensyn til det forhold, at produktionen af råtræet til limtræbjælken undervejs i skovens vækst giver grundlag for en række biprodukter – først og fremmest energi i form af brænde og skovflis. Indregnes disse i balancen, vil limtræbjælken give anledning til yderligere fortægnning af miljøbelastninger.

Miljøfordele

Det forhold, at tal for energiforbrug og emissioner bliver negative for træbjælken bør overvejes nøjere, idet det må karakteriseres som usædvanligt, at en analyse af miljøbelastninger ved en given proces resulterer i påvisning af miljøforbedringer. Det negative fortegn bekræftes imidlertid af en række undersøgelser:

SBI/i-68

– Det arbejde, der p.t. gennemføres i samarbejde mellem SBI og i-68 (ref. 20), peger på, at genanvendelse eller forbrænding af træbaserede bygningsmaterialer vil medføre fradrag i det samlede miljøregnskab. For så vidt fradraget (brændværdien) er større end det akkumulerede energiforbrug i træproduktet indtil slutomsætningen, vil også dette føre til negative værdier.

IIASA

– I en analyse fra International Institute for Applied Systems Analysis (ref. 30) påvises det, at når emissionen af CO₂ beregnes som nettoværdi (hvilket indebærer, at restproduktets brændværdi indregnes), så bliver tallet negativt, hvilket fortolkes som en netto binding af kuldioxid.

Finsk standardinstitution

– I en finsk undersøgelse (ref. 31, der hovedsagelig er baseret på tal fra Schweiz (BUWAL)) kan det konstateres, at det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af materialerne (her forskellige papirvarer) er på niveau med brændværdien af restproduktet. Også her vil man altså i visse tilfælde kunne konstatere negative værdier for emissionsdata.

6.5 Brug af input-output-metoden

Salgspriser

Energiforbrug og emissioner ved de to alternativer kan også vurderes ved hjælp af input-output-metoden beskrevet i Appendiks 2. Brug af denne metode kræver, at man kender salgsprisen uden moms og afgifter. De omtrentlige priser for de to alternative bjælker er indhentet fra de to brancher.

Energiforbrug og emissioner

Ved brug af nøgletallene fra tabel 1 og 3 i Appen liks 2 for brancherne "Træforarbejdning excl. møbler" og "Jern- og stål-værker" fås følgende globale energiforbrug og emissioner for de to alternativer:

Alternativ	Salgspris kr.	Globalt energi- forbrug Gj	Globale emissioner kg		
			CO ₂	SO ₂	NO _x
Limtrædrager	1260	2,62	141	0,71	0,49
Stål drager	900	4,44	365	1,77	0,83

Tabel 6.13

Salgspris, globale energiforbrug og emissioner af CO₂, SO₂ og NO_x for de to alternativer ved brug af input-output-metoden.

Sammenligning

Ved sammenligning med resultaterne fra den detaljerede analyse finder man, at energiforbrug og emissioner kan være dobbelt så store ved brug af input-output-metoden for limtrædrageren (når man ser bort fra forbrænding ved bortskaffelse, som jo ikke er medregnet i denne metode), mens input-output-metodens resultater for stål drageren ligger mellem de to værdier af den detaljerede analyse.

Global/direkte

En vigtig årsag til de højere beregnede energiforbrug ved input-output-metoden er sandsynligvis, at der med denne metode indregnes *globale* forbrug, d.v.s. forbrug i form af såvel "energiinvesteringer" som energiforbrug i såvel den direkte berørte branche som i alle de brancher, der "ligger bagved" som råvareleverandører til den pågældende branche. Herved indregnes f.eks. i fuldt omfang energimæssig afskrivning af produktionsudstyr på globalt niveau, hvilket vil være meget vanskeligt at indregne i en mere detaljeret analyse som f.eks. tabel 6.1, figur 6.3 eller tabel 6.5. Forskellen mellem den globale betragtning og det direkte energiforbrug illustreres f.eks. af figur 2 i appendiks 2, hvoraf det fremgår, at det direkte energiforbrug kun udgør typisk 20-70% af det globale energiforbrug mens det indirekte og udenlandske energiforbrug udgør resten.

Variation i brancherne

En anden forklaring kan være, at energiforbrug og emissioner ved brug af limtrædrageren ikke ligner det gennemsnitlige for træforarbejdningsbranchen, d.v.s. at produktsortimentet fra branchen er meget inhomogent, således at andre træprodukter (excl. møbler) generelt kan medføre et højere energiforbrug, end tilfældet er med limtrædrageren.

Derimod er der grund til at tro, at stålprodukter i højere grad ligner hinanden m.h.t. energiforbrug, men at der samtidig kan være stor spredning i energieffektiviteten fra stålværk til stålværk.

Vurdering af input-output-metoden

Anvendelse til overslag

Input-output-metoden kan være hensigtsmæssig, når der skal laves et overslag over energiforbrug og miljøbelastninger ved forskellige alternativer. Dog kan metoden ikke detaljere nærmere end til gennemsnittet af produkterne fra en hel branche, hvorfor det særligt i inhomogene brancher (f.eks. er træforarbejdningsbranchen tilsyneladende ikke særlig homogen) bør tilstræbes at basere beregningerne på mere detaljerede oplysninger, så-

fremt disse foreligger. Derimod kan input-output-metoden vise sig nyttig når alternativer til træprodukter skal vurderes, idet metal-, plast- og betonvarebrancherne formodentlig kan forventes at være mere homogene.

6.6 Diskussion

Limtrædrager bedst

En limtrædrager, der forbrændes til slut, ser ud til at være det bedste alternativ, når der skal vælges mellem limtræ- og ståldrager med de beskrevne egenskaber, og når energiforbruget anvendes som afgørende parameter for miljøbelastningen.

Andre miljøparametre

Der er andre miljømæssige fordele og ulemper ved de enkelte alternativer - eksempelvis emission af kvælstof- og andre forbindelser ved forbrænding af limtræet eller de omtalte miljøproblemer ved fremstilling af stål. Der er dog ikke i dette korte eksempel gået i dybden med disse. Emissioner fra energiproduktionen er meget tungtvejende miljøfaktorer.

Levetid

Levetiden for bjælken har større betydning, end man umiddelbart skulle tro. Som et tænkt eksempel - uden sammenhæng med virkeligheden - kan man forestille sig, at limtrædrageren har en levetid, der er dobbelt så lang som stålbjælken. Herved bliver energiforbruget til at opfylde den givne funktion - at opfylde et givet krav til bæreevne i en given konstruktion i et fastlagt antal år - fordoblet for stålalternativet.

Denne tankegang harmonerer også med diskussionen om "miljøgæld" i afsnit 2.6, hvor det netop konkluderes, at "miljøgælden" må deles i forhold til levetiden, hvis et givet produkt genanvendes eller recirkuleres.

Forbrænding afgørende

Ud fra analysen af energibalancen for limtrædrageren er det indlysende, at forbrændingen af bjælken efter kassation er den altafgørende proces, der bidrager til det positive billede af miljøforholdene. Der er i afsnit 3.12 redegjort for, at denne forbrænding er det "miljøvenlige alternativ", hvilket da også bekræftes af nærværende sammenligning mellem deponering og forbrænding.

Konklusion

I forhold til den oprindelige intention med projektet - at identificere indsatsområder - kan der altså antydes følgende konklusion:

Miljøfordele ved anvendelse af træprodukter findes først og fremmest i udnyttelse af den i træproduktet bundne brændværdi til energiproduktion. Herudover kan der tænkes særlige miljøfordele ved anvendelse af træ som råmateriale gennem udpegning af specifikke produkter med særlig gode miljømæssige egenskaber sammenlignet med andre produkter. En udpegning af indsatsområder, hvor træ har særlige muligheder for at påvirke miljøet positivt, vil altså i første række have karakter af en anvisning på, hvorledes træprodukter og træbaserede restprodukter kan anvendes til energiudnyttelse i slutningen af deres livscyklus.

Træproduktet brændbart

Med limtrædrageren som eksempel indebærer dette, at vi kan påpege at limtræ i sig selv ikke udmærker sig fremfor andre træprodukter, og at indsatsen for at opnå miljøfordele med træprodukter skal koncentrere sig om at gøre restprodukterne brændbare, dvs.:

- sikre, at restprodukterne kan bringes frem til et energianlæg,
- sikre, at de kan bringes på en form, så de kan brændes og
- sikre, at forbrændingen ikke sker med uacceptable emissioner.

Det sidste krav kan tilsyneladende anses for opfyldt for limtræbjælken, jævnfør afsnit 6.2, hvis denne er limet med den mest almindelige lim. I andre tilfælde indebærer dette krav, at det af hensyn til opnåelsen af miljøfordele ved slutomsætningen kan blive nødvendigt at begrænse anvendelsen af uønskede stoffer på træet, (maling, imprægnering, lim m.fl.).

Fremtidigt arbejde

Sådanne begrænsninger kan forventes at få væsentlig betydning for fremstilling og brug af træbaserede produkter, og der kan derfor påpeges et behov for en uddybende belysning af konsekvenser for produktion, anvendelse og forbrænding af forskellige former for "forurening" af det rene træ med maling, lim, osv.

Gennemførelsen af et projekt under Energiforskningsprogrammet for 1992 (EFP-92) vedrørende forbrænding af spildtræ på affaldsforbrændingsanlæg afdækker dele af denne problemstilling. Der er i september 1992 udgivet en delrapport fra dette projekt (ref. 32).

Udpegning af *hvilke* produkter (indsatsområder), det ville være mest interessant at satse på, er ikke gennemført så detaljeret, som det var intentionen fra projektets start. Der vil derfor fortsat være et behov for en energimæssig sammenligning af træprodukter med andre produkter med henblik på udpegning af indsatsområder. Sådanne produkter kan f.eks. være produkter, hvor energiforbruget til fremstilling er lille. Eksempler kan findes i litteraturen som f.eks. Forest Products Laboratories, der fandt en energibesparelse ved at bygge broer af træ i forhold til beton på en faktor 5.

Worst case/best case

For stålbjælken er anvendt tal for Det Danske Stålværks stålproduktion, vel vidende, at ståldragere vil være fremstillet i udlandet, sandsynligvis med betydeligt mindre andel af recirkuleret stål og muligvis på industrier med større miljøbelastning pr. produceret enhed.

Samtidig er der for træbjælken valgt at regne med det højeste af energiforbrugene fra de to kilder.

Det forhold, at der for det ene produkt anvendes tal, der er "best case", mens der for det andet vælges "worst case" har selvfølgelig indflydelse på resultaterne. Valget er foretaget for at give stor margin for sikkerheden i konklusionen – særlig da projektet gennemføres med det formål at dokumentere miljøforhold ved træprodukter. Det er imidlertid klart, at en mere detaljeret gennemgang sandsynligvis vil vise en endnu større forskel mellem de to produkter, end der her er gjort rede for.

7. Udnyttelse af træressourcer

Begrænsninger i ressourcer

Ved siden af ovennævnte betragtninger om energibalancer og miljøbelastninger, er det afgørende at vurdere de ressourcemæssige begrænsninger for træudnyttelsen. Der er ikke i denne rapport redegjort nærmere for produktionsmulighederne i dansk, nordisk eller europæisk skovbrug. Blot skal der med henvisning til bl.a. ref. 1, 2 og ref. 30 påpeges, at udnyttelsen af træ fra skove i Danmark, Skandinavien og Europa ligger betydeligt *under*, hvad der kan produceres i skovbruget.

Forudsætningen for, at man som antydnet kan anbefale at øge træforbruget for at opnå miljøfordele, er naturligvis, at træet virkelig kommer fra skovområder med ordnet skovdrift (hugst = tilvækst) og ikke fra eksplorativt skovbrug, hvor rovdrift på skovens ressourcer forringer de fremtidige muligheder for at udnytte jordens produktionsformåen og andre naturressourcer.

Bæredygtighed?

Den første betingelse for bæredygtighed i skovbrugets drift er, at hugsten set over en begrænset årrække er mindre end tilvæksten på arealerne.

Denne betingelse er jævnfør ovennævnte referencer opfyldt for dagens skovbrug i Europa, idet der gennem de sidste ca. 40 år er sket en tilvækst i den stående masse i Europas skove.

Situationen er i dag den, at skovene har vanskeligt ved at finde afsætning for tilvæksten. Årsagen til den svigtende afsætning skal ikke analyseres nærmere her – det skal blot konstateres, at der i dag er et yderligere produktionspotentiale i skovbruget op til en grænse, der bestemmes af hensynet til ordentlig skovdrift – herunder af at grundlaget for skovdriften i fremtiden ikke må forringes.

Hvis konklusionen i analysen i afsnit 3.12 og kapitel 6 i øvrigt er troværdig, og det samtidig anerkendes, at træressourcen i dag kan udnyttes yderligere under hensyntagen til principperne for bæredygtig skovdrift, så kan det konkluderes, at man ikke af hensyn til miljøet skal begrænse anvendelsen af træ – forudsat at disse principper for et ordnet og flersidigt skovbrug overholdes.

Fredsskovdeklaration

I Danmark medfører fredsskovpligten, at skovejeren har pligt til at sørge for, at der fortsat er skov på arealet. Dette indebærer ved renafdrift, at der skal tilplantes igen. Endvidere har skovejeren pligt til at sørge for kvalificeret tilsyn med skoven bl.a. af hensyn til træproduktionen.

I Appendiks 3 (der er fra ref. 3) findes en god og præcis beskrivelse af de lovgivningsmæssige rammer, der i Danmark sikrer en ordentlig skovdrift.

Her omtales bl.a., at skovejeren også har pligt til at passe kulturer ordentligt, at gennemføre tyndinger af hensyn til skovens sundhed og stabilitet, at renafdrift ikke må finde sted før skoven er hugstnuden, at skoven skal genetableres enten ved plantning eller naturlig foryngelse snarest muligt efter afdrift, og at skoven skal passes således, at grundlaget for skovdriften vedligeholdes eller forbedres.

Der ydes i Danmark tilskud til nyetablering af skov, f.eks. på tidligere landbrugsjord. Dette tilskud ydes kun, hvis ejeren lader lyse fredsskovpligt på jorden.

Skoven som kulstoflager

Som omtalt i afsnit 3.12 er skoven i modsætning til olie- og kullagre ikke et stabilt lager for bundet kulstof. Hvis skovens tilvækst ikke udnyttes til produkter og energi, vil den gå tabt i forrådnelsesprocessen. Efterspørgslen efter nye fibre fra europæisk skovbrug er mindre end tilvæksten, hvorfor der er mulighed for at reducere tabene (i form af forrådnelse) gennem et øget forbrug af træ. Samtidig skal der peges på det forhold, at øget efterspørgsel efter fibre animerer til forøget produktivitet (pasning, gødskning m.m.) med heraf følgende øget biologisk produktion. Grænsen for udbyttet fra skovbruget sættes her af andre miljøparametre som f.eks. bevarelsen af arter, variation i landskabsbilledet, balancen for humus i skovbunden etc.

Appendiks 1

Ordforklaring til forstlig terminologi

<i>Afdrift</i>	Afdrift betyder, at en bevoksning ryddes med henblik på at høste det producerede træ, og plante nye træer på arealet.
<i>Motormanuel skovning</i>	Motormanuel skovning er det samme som fældning og oparbejdning af træer med motorsav.
<i>Mekaniseret skovning</i>	Mekaniseret skovning betyder fældning og oparbejdning af træer med en skovningsmaskine. Skovningsmaskinen er en specialmaskine, som er i stand til at fælde og oparbejde træer.
<i>Nettopris på rod</i>	Prisen for træ, solgt inden det fældes (stående på roden). Prisen kan beregningsmæssigt bestemmes ud fra handelsprisen, der er gældende for skovet træ, der ligger ved bilfast vej, fratrukket de beregnede omkostninger til skovning og transport i terrænet.
<i>Omdriftstid</i>	En bevoksnings omdriftstid er den tid der går, fra en bevoksning er plantet på et areal, til den næste generation plantes. Da træer normalt er 2-4 år, når de plantes ud, er omdriftsalderen ca. 2-4 år kortere end træernes alder ved afdrift.
<i>Renafdrift</i>	Se afdrift.
<i>Roundup</i>	Ukrudtsmiddel, der virker gennem blade og andre grønne plantedele. Roundup bindes kraftigt i jordoverfladen, hvorfra det hurtigt nedbrydes.
<i>Rumtæthed</i>	Måles i ton tørstof pr. m ³ træ; udtryk for tørstoffets vægtfylde, men baseret på volumen af træet inden tørring.
<i>Skovflis</i>	Brændselsflis fremstillet i skovbruget. Flisen, der i Danmark hovedsagelig fremstilles af træ fra tyndinger i nåletræsbevoksninger eller fra bjergfy. - plantager uden anden anvendelse, består af vedstykker f.eks. 0,5 X 2,0 X 5,0 cm, smuld og eventuelt små kviste op til 20 cm længde.
<i>Sortlud</i>	Restprodukt ved fremstilling af cellulose, hovedsagelig bestående af lignin opslemmet i vand. Efter inddampning anvendes dette restprodukt sædvanligvis som brændsel på cellulosefabrikken, hvorved der produceres varme og el til virksomhedens processer.
<i>Tørstof</i>	Tørstof er den del af træet, som ikke er vand. Tørstoffet er vigtigt ved anvendelse af træ som brændsel, da det er tørstoffet, som skaber energien, mens vandindholdet forbruger energi, når det fordamper.

Appendiks 2

Energi- og miljøforhold for erhvervenes produkter

Baggrund

Energiforbrug

Der eksisterer mange myter i energisektoren om energiforbruget til fremstilling af forskellige produkter og anlæg. F.eks. har det været fremført, at energiforbruget til fremstilling af en vindmølle skulle overstige, hvad den kan nå at producere i sin levetid. Selvom denne myte er aflivet, har det dog vist sig, at energiforbruget til fremstilling af f.eks. energianlæg i visse tilfælde løber op i en størrelsesorden, hvor det ikke kan negligeres (ref. 33).

Emissioner

Til energiforbruget er knyttet emissioner og miljøeffekter. Her er det bl.a. af betydning hvilke energikilder, der bruges ved produktionen.

I dette appendiks beskrives en metode til vurdering af energiforbrug og miljøeffekter hidrørende fremstilling af maskiner og andre økonomiske aktiviteter, hvor energiforbruget ikke direkte kan gøres op på basis af registreringer og erfaringstal.

Metode

25 energiformer

På basis af Danmarks Statistiks input-output-tabeller vedrørende erhvervenes bruttoenergiforbrug opdelt på 25 energiformer (ref. 34), er det muligt at finde sammenhængen mellem produktionsværdi og forbruget af de enkelte energiformer.

Energiforbrugets opdeling

Energiforbruget er fordelt på direkte, indirekte indenlandsk og udenlandsk energiforbrug. Således fremkommer ikke alene det direkte energiforbrug som følge af vareproduktionen i den enkelte erhvervsgruppe, men også de energiforbrug, der kommer som følge af erhvervsgruppens indkøb af råmaterialer og/eller halvfabrikata, transportenergiforbrug etc. i såvel inldand som udland. Summen af det direkte og det indirekte indenlandske og udenlandske energiforbrug benævnes her det globale forbrug.

Pris giver energiforbrug

Det er således muligt ud fra kendskab til *pris* og *erhvervsgruppe*, at danne sig et indtryk af det samlede energiforbrug, der er en følge af produktionen af enkelte eller sammensatte produkter eller anlægsdele.

Energiforbrug giver miljødata

Miljøbelastningen, som hidrører fra ovennævnte energiforbrug kan estimeres ved at anvende emissionsfaktorer for de vigtigste miljøbelastende stoffer. Der er her valgt foreløbig, at beregne emissionen til luft af CO₂, SO₂ og NO_x. Ved hjælp af yderligere emissionsfaktorer kan tilsvarende data

beregnes for andre miljøbelastninger (f.eks. for PAH fra ref. 5 og for partikler, CO, HC og N₂O fra ref. 31¹⁾).

Modellen

Regneark

Beregningsen foregår i et regneark hvor henholdsvis det direkte, indirekte og udenlandske energiforbrug fordelt på energiformer er beregnet for 117 erhvervsgrupper. De beregnede størrelser er her samlet i en aggregeret form, der indeholder 45 udvalgte erhvervsgrupper i dansk erhvervsliv. Ud fra antagne emissionskvotienter for de enkelte energiformer, beregnes emissionen til luft. Emission til jord og vand (deponering, udledning) af restprodukterne fra energiproduktionen kan beregnes på tilsvarende måde, hvis man har de tilsvarende emissionskvotienter.

Erhvervsgrupper

De 45 erhvervsgrupper er udvalgt således, at dels de vigtigste produktionssektorer for træprodukter er med, og dels således, at de fleste alternativer kan beregnes med modellen.

Skovbrug

Gruppen indeholder også plantagedrift.

Træindustri ekskl. møbler

Gruppen indeholder savværker, træimprægneringsanstalter, fremstilling af spånplader, fremstilling af bygningsartikler af træ, træemballagefabrikker, bødkere, kurvemagere, trævarefabrikker, rammelstefabrikker, trædrejere, billedskærere, modelsnedkere, korkvarefabrikker og ligkistefabrikker.

Møbelindustri

Gruppen indeholder træ- og polstermøbelindustri, møbelpolstrere, madrassfabrikker og møbelindustri i øvrigt.

Energiforbrug til fremstilling af maskiner m.m.

Tabel 1

Tabel 1 viser erhvervenes specifikke globale direkte og indirekte bruttoenergiforbrug for udvalgte erhvervsgrupper, fordelt på 20 energiformer²⁾:

Eksempel

Brugen af tabellen kan bedst vises med et eksempel: En maskinleverance koster 25 millioner kr. ekskl. moms og afgifter. I tabel 1 kan man se, at fremstilling af industrimaskiner medfører et globalt bruttoenergiforbrug på ca. 1046 GJ pr. million kr. produceret.

Fremstilling af den omtalte maskinleverance forårsager altså et globalt energiforbrug på omkring 26 TJ. Man kan også i tabellen se fordelingen på energiformer. Der er tale om bruttoenergiforbrug, og der er således i tabel 1 taget hensyn til effektiviteten af de benyttede energianlæg. Det gælder også for forbruget af fjernvarme og elektricitet. F.eks. bliver halv-

¹⁾ Indskrænkningen til de tre emissioner til luft er valgt dels for at begrænse omkostningerne i projektet, dels fordi anvendelsen af emissionsfaktorer fra flere forskellige kilder forudsætter et betydeligt arbejde med verificering af forudsætninger og eventuel tilpasning til danske forhold. Eksempelvis indeholder ovennævnte finske kilue faktorer for partikler, CO, HC og N₂O, men der savnes data for 15 af de 20 her analyserede energiformer, ligesom de anførte data for SO₂ og NO_x ikke stemmer tilstrækkeligt overens med de her anvendte faktorer fra ref. 5 - formentlig pga. forskelle i f.eks. krav til svovlindhold i brændsler, fyringsteknik eller anvendt teknologi til elproduktion.

²⁾ Kun 20 ud af 25 energiformer i referencen finder anvendelse i de udvalgte erhvervsgrupper.

delen af bruttoenergi-forbruget brugt til elfremstilling og med en gennemsnitlig brændseffektivitet på 54% (dansk gennemsnit) har elforbruget altså været ca. 7,5 TJ eller 2.100 MWh.

Fordeling af forbruget

I det detaljerede tabelværk fremgår det også hvor meget af bruttoenergi-forbruget, der bruges direkte på fremstillingsvirksomheden, hvor meget, der bruges indirekte her i Danmark ved fabrikation af halvfabrikata m.m. og endelig hvor meget, der bruges i udlandet til frembringelse af råmaterialer og halvfabrikata. Figur 1 viser fordelingen på direkte, indirekte og udenlandsk energiforbrug for de udvalgte erhvervsgrupper.

Miljøforhold

Kun de miljøforhold, der har direkte forbindelse med erhvervenes energiforbrug, vurderes i denne generelle model. Ved at kende fordelingen af brændsler, kan man vurdere emissionerne forårsaget af energiforbruget til fremstillingen.

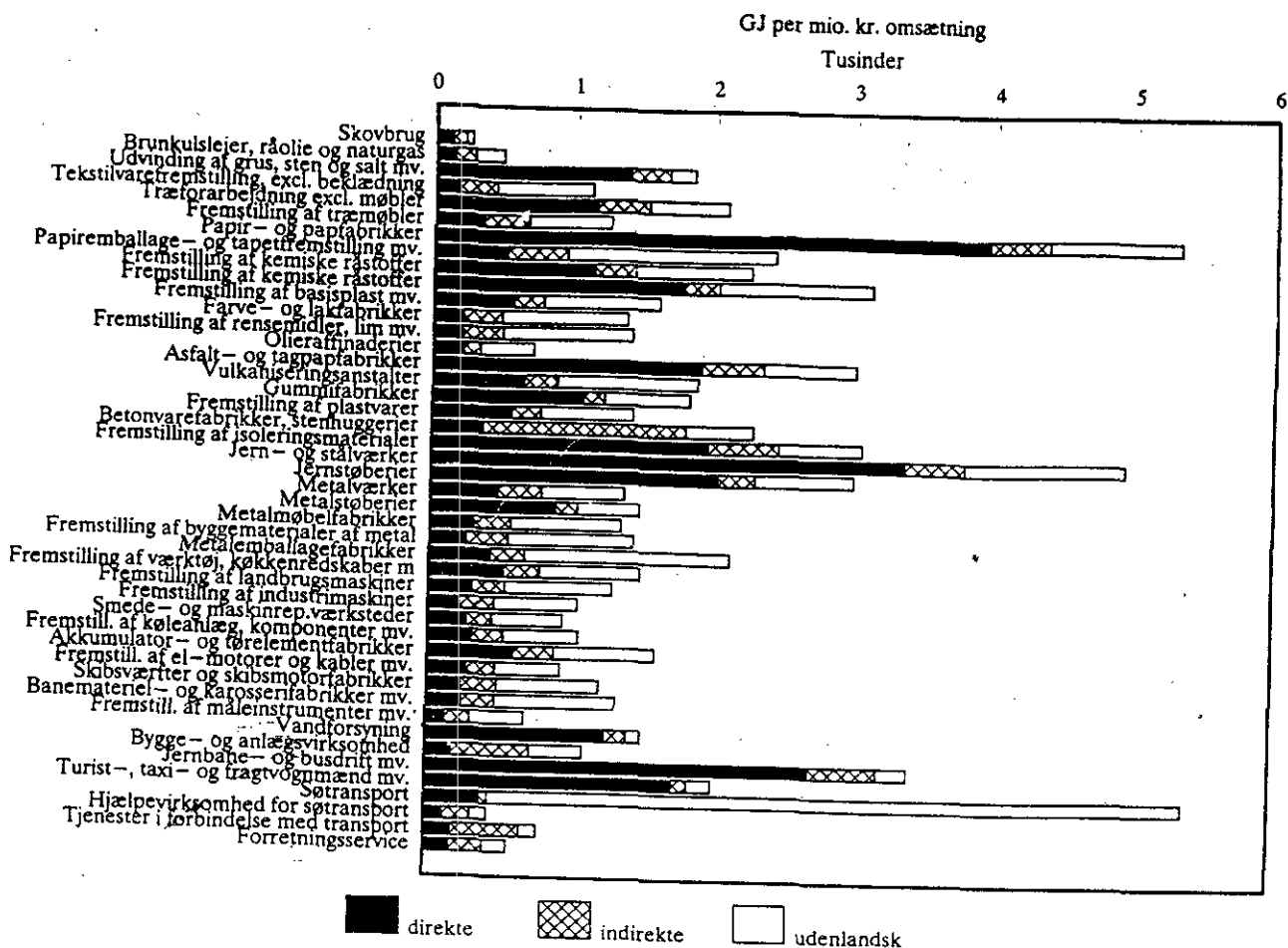
Data for el og fjernvarme

Tallene fra Danmarks Statistik skelner dog ikke mellem de brændsler, der anvendes i fjernvarme- og elforsyningen, så derfor er der anvendt følgende fordeling mellem brændsler (ref. 35):

	Kul	Olie	Naturgas	Affald m.m.
Fjernvarme				
Fjernvarmecentraler	8%	6%	13%	19%
Kraftvarmeanlæg	51%	3%	1%	0%
I alt	59%	9%	14%	19%
Elektricitet				
Kraft- og kraftvarmeverker	93%	5%	2%	

Tabel 1
Erhvervenes globale bruttoenergiforbrug opdelt på relevante erhvervsgrupper og 20 energiformer. Energiforbruget er angivet i GJ per million kr. produktions-
værdi

Glimskler	Gas- værtsgas	Fjern- varme	Kul	Brunkul	Koks/ Cindgas	Jæpe- troleum	Jetben- zin	Motor- benzin	Farvet benzin	Adnaben- zin/napha	Petrole- um	Aurogas- olie	Fyrings- gasolie	Maxin cieselol.	Let/svær fuelolie	LPG	Elektri- citet	Brænde	Jordolie- koks	Naturgas	Samlet forbrug
Global 86	0,2	9,0	7,4	0,0	0,2	6,1	0,0	28,1	0,0	17,6	0,0	100,9	17,6	1,9	13,9	4,7	35,6	1,2	2,1	3,7	253
Skovbrug	0,3	4,1	7,8	0,0	0,4	66,4	0,0	3,5	0,0	0,1	0,0	17,9	70,0	58,5	192,1	5,9	43,4	1,7	3,1	3,9	477
Brunkulstøjer, råolie og naturgas	0,2	5,9	78,2	14,8	31,7	9,4	0,0	27,2	1,3	0,0	0,0	190,5	273,5	8,4	49,0	15,0	366,9	2,0	30,8	35,1	1843
Udvinding af grus, sten og sæk mv.	0,4	27,1	46,3	0,0	1,4	20,3	0,1	27,1	1,2	0,1	0,0	107,3	95,9	9,1	212,9	34,2	445,6	6,3	6,5	63,2	1105
Tekstilvarefremstilling, exci, beklædning	0,3	17,9	35,1	0,1	3,5	14,9	0,1	21,0	2,5	0,1	0,0	131,5	79,1	9,9	173,0	20,1	596,0	683,4	9,4	96,7	2078
Træforarbejdning exci, møbler	0,4	17,1	42,5	0,0	2,9	24,8	0,1	21,8	0,9	0,1	0,0	112,1	89,1	7,4	116,8	50,7	452,3	245,8	9,1	48,0	1242
Fremstilling af træmøbler	0,5	14,1	16,9	0,0	3,6	20,5	0,1	22,0	0,2	0,3	0,0	188,3	62,8	11,5	132,0	50,3	1828,4	100,9	43,1	32,2	5326
Papir- og papirfabrikker	0,3	21,0	481,6	0,0	1,5	17,8	0,1	19,7	0,8	0,1	0,0	142,2	78,6	9,2	489,3	29,5	867,0	31,9	16,3	217,4	2424
Jernremballage- og tapetfremstilling mv.	0,3	19,0	97,9	0,1	1,4	20,4	0,1	15,7	1,6	1,1	0,3	117,5	107,1	24,9	646,3	43,5	1085,9	3,8	15,0	48,8	2253
Fremstilling af kemiske råstoffer	0,3	15,8	206,2	3,3	7,7	20,7	0,1	21,4	1,1	1,2	0,1	151,7	125,4	20,2	1006,1	23,0	1451,2	3,6	20,4	22,7	1113
Fremstilling af basalt mv.	0,4	19,8	52,3	0,0	2,3	22,7	0,1	17,1	1,0	0,2	0,1	92,2	130,3	15,3	233,4	31,1	882,4	4,7	18,6	80,7	1608
Fremstilling af tekstiler mv.	0,9	40,8	66,8	0,2	1,5	32,9	0,1	20,4	1,5	1,6	0,2	126,0	95,4	23,2	262,2	29,1	582,2	4,1	33,9	47,0	1371
Farve- og lakfabrikker	0,4	15,6	70,1	0,1	1,3	21,3	0,1	18,5	1,9	2,7	0,2	113,6	129,0	20,0	292,7	41,7	613,5	5,9	13,0	4,7	1407
Fremstilling af tekstiler, lim mv.	0,3	4,2	9,9	0,0	0,5	56,7	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	20,9	65,0	51,3	173,3	6,7	294,8	1,7	6,7	4,8	701
Otherafmadninger	0,4	13,3	126,6	1,1	11,3	32,9	0,1	23,3	5,1	2,4	0,0	94,3	550,9	20,8	768,0	47,4	722,4	4,5	81,4	66,4	3002
Asfalt- og tagpapfabrikker	0,3	14,2	59,7	0,2	1,6	20,3	0,1	21,5	2,6	0,4	0,2	121,9	256,4	20,3	373,3	23,6	883,0	3,6	38,5	41,8	1854
Vulkaniseringsanlæg	0,3	11,3	35,9	0,1	2,5	18,0	0,1	14,6	0,8	0,8	0,1	79,1	122,7	19,1	503,7	31,4	882,0	4,9	18,7	87,6	1834
Gummi- og plastvarer	0,5	22,3	45,8	0,0	1,4	25,4	0,1	19,4	0,6	0,1	0,1	99,4	100,1	15,0	170,3	38,6	827,0	5,2	10,6	43,7	1426
Betonsvæfning, tekstiler, tekstilvarer	0,4	14,5	358,8	1,0	10,6	18,8	0,1	16,7	2,5	0,1	0,0	124,5	154,4	14,7	205,6	28,8	752,2	6,8	693,8	53,8	2281
Fremstilling af isoleringsmaterialer	3,9	10,8	515,9	0,4	355,8	20,2	0,1	35,9	0,5	0,1	0,0	220,9	137,2	16,0	409,6	45,4	1465,5	7,3	100,7	228,7	4938
Fremstilling af isoleringsmaterialer	0,4	17,8	85,4	0,1	1,6	24,2	0,1	21,8	0,4	0,1	0,0	160,3	256,3	23,9	418,6	214,6	2804,5	3,3	127,5	776,8	3056
Jern- og stålvarer	0,4	4,2	52,1	0,3	171,3	20,1	0,1	17,8	0,5	0,1	0,0	100,6	175,1	23,2	177,6	97,2	1988,2	13,3	42,1	77,9	3000
Metallvarer	0,3	69,7	265,5	0,0	1,8	24,1	0,1	34,0	0,5	0,1	0,0	227,4	113,1	26,6	99,9	100,0	595,6	3,2	18,2	28,3	1372
Metallfabrikker	1,6	19,2	160,0	0,0	1,1	14,3	0,0	22,8	0,4	0,0	0,0	126,0	191,3	33,7	97,6	81,4	838,0	2,3	8,3	28,0	1482
Fremstilling af byggematerialer af metal	0,5	29,0	37,9	0,0	1,1	14,3	0,0	22,8	0,4	0,0	0,0	126,0	191,3	33,7	97,6	81,4	838,0	2,3	8,3	28,0	1482
Metallremballagefabrikker	0,6	24,2	36,5	0,0	7,5	23,3	0,1	18,5	0,4	0,1	0,0	111,2	136,4	11,7	128,1	70,2	632,5	4,9	19,2	22,1	1439
Fremstilling af værktøj, køkkensiddler mv.	1,2	31,0	45,9	0,0	3,4	21,2	0,1	20,1	0,4	0,1	0,0	93,1	171,7	11,3	191,0	102,8	1099,7	7,0	36,1	317,5	2131
Fremstilling af håndværk, tekstilvarer mv.	0,4	25,9	32,0	0,1	10,7	20,2	0,1	19,4	0,7	0,1	0,0	93,1	171,7	11,3	191,0	102,8	1099,7	7,0	36,1	317,5	2131
Fremstilling af håndværk, tekstilvarer mv.	0,4	16,3	26,4	0,0	4,6	22,3	0,1	17,6	0,6	0,1	0,0	93,1	171,7	11,3	191,0	102,8	1099,7	7,0	36,1	317,5	2131
Fremstilling af industriemaskiner	2,6	23,3	24,2	0,0	4,7	23,1	0,1	17,7	1,6	0,1	0,0	93,1	171,7	11,3	191,0	102,8	1099,7	7,0	36,1	317,5	2131
Smede- og maskinrep. værksteder	0,4	39,2	190,0	0,0	2,1	21,5	0,1	17,7	1,6	0,1	0,0	93,1	171,7	11,3	191,0	102,8	1099,7	7,0	36,1	317,5	2131
Fremst. af kølemiddel, komponenter mv.	0,6	20,1	23,6	0,0	3,6	21,5	0,1	15,2	0,7	0,1	0,0	108,1	111,6	8,3	122,9	33,8	530,2	5,1	12,8	61,1	1038
Akkumulator- og øretelefonfabrikker	0,3	51,0	74,3	0,1	1,2	25,5	0,1	25,1	0,4	0,1	0,0	112,7	93,6	8,0	172,3	60,3	866,4	12,2	25,5	120,3	1609
Fremst. af el-motorer og kabler mv.	0,8	32,3	23,4	0,0	1,7	22,5	0,1	16,3	0,5	0,0	0,0	87,4	88,5	9,6	108,4	24,9	457,5	4,0	11,2	43,6	933
Skræbæret og skibsmotorfabrikker	1,1	24,5	27,4	0,0	6,5	21,2	0,1	14,1	1,4	0,1	0,0	81,0	110,1	8,8	135,5	37,2	634,2	9,4	16,0	82,4	1209
Banemateriel- og karosserifabrikker mv.	0,4	37,8	31,9	0,0	2,5	19,6	0,1	17,5	1,1	0,1	0,0	100,1	110,1	8,8	135,5	37,2	634,2	9,4	16,0	82,4	1209
Fremst. af mønstre mv.	2,8	21,5	23,9	0,0	1,0	26,9	0,1	13,7	0,3	0,0	0,0	64,5	72,5	6,0	63,6	16,6	326,8	4,4	7,8	33,6	686
Vandforsyning	1,2	14,7	17,1	0,0	1,3	17,2	0,1	10,3	0,1	0,0	0,0	62,4	35,4	4,0	32,0	9,2	1290,8	6,5	11,9	10,0	1520
Bygge- og anlægsvirksomhed	8,3	20,4	79,2	0,2	7,5	21,5	0,1	36,1	0,6	0,1	0,0	217,8	81,1	10,7	111,7	46,3	300,9	40,7	78,6	42,3	1104
Jernbane- og busdrift mv.	1,1	19,1	17,9	0,0	1,5	15,2	0,0	12,0	0,2	0,0	0,0	107,5	24,6	32,6	75,3	33,8	85,5	7,5	1,0	2,1	5,9
Turisme-, taxi- og fragtvognmand mv.	0,1	8,5	5,1	0,0	0,2	8,1	0,0	4,2	0,1	0,0	0,0	161,5	24,6	32,6	75,3	33,8	85,5	7,5	1,0	2,1	5,9
Søtransport	1,0	15,7	20,1	0,0	1,1	22,8	0,1	21,6	0,1	0,0	0,0	92,8	35,3	3,9	34,6	36,0	128,1	5,4	9,7	10,5	439
Hjelpekraft mv.	0,3	33,0	11,3	0,0	0,4	76,0	0,1	73,0	0,1	0,0	0,0	244,9	61,3	25,3	59,9	6,2	179,9	2,1	3,6	9,0	788
Tjenester i forbindelse med transport	0,3	38,6	43,2	0,0	0,4	32,9	0,1	10,6	0,1	0,0	0,0	63,7	65,8	6,4	57,1	14,5	228,7	3,8	4,0	10,0	590



Figur 1

Bruttoenergiforbruget forårsaget af produktionen i udvalgte hovederhvervsgrupper, fordelt på direkte, indirekte og udenlandsk forbrug

Emissionsfaktorer

Ved beregning af de specifikke emissioner til luft af de luftforurenede stoffer er de i tabel 2 viste emissionsfaktorer anvendt.

		Bygas	Fjernvarme	Kul	Brunkul	Koks/Cind.	Jetpetroleum	Jetbenzin	Motorbenzin	Farvetbenzin	Andenbenzin
CO ₂	(kg/GJ)	57,00	73,33	95,00	93,00	95,00	70,50	70,50	70,50	70,50	70,50
SO ₂	(kg/GJ)	0,00	0,37	0,58	0,65	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x	(kg/GJ)	0,10	0,16	0,20	0,20	0,20	0,30	0,90	0,77	0,77	0,77
		Petroleum	Autogasolie	Fyringsgasolie	Marindiesel	Fuelolie	LPG	Elektricitet	Brænde	Jordokoks	Naturgas
CO ₂	(kg/GJ)	75,00	75,00	75,00	75,00	80,00	64,00	91,32	0,00	95,00	57,00
SO ₂	(kg/GJ)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,50	0,00	0,56	0,13	0,68	0,00
NO _x	(kg/GJ)	0,05	0,52	0,10	0,82	0,15	0,10	0,19	0,13	0,20	0,10

Tabel 2

Benyttede emissionsfaktorer for SO₂, NO_x og CO₂, beregnet på baggrund af bilag 3 i ref. 5.

Specifikke emissioner

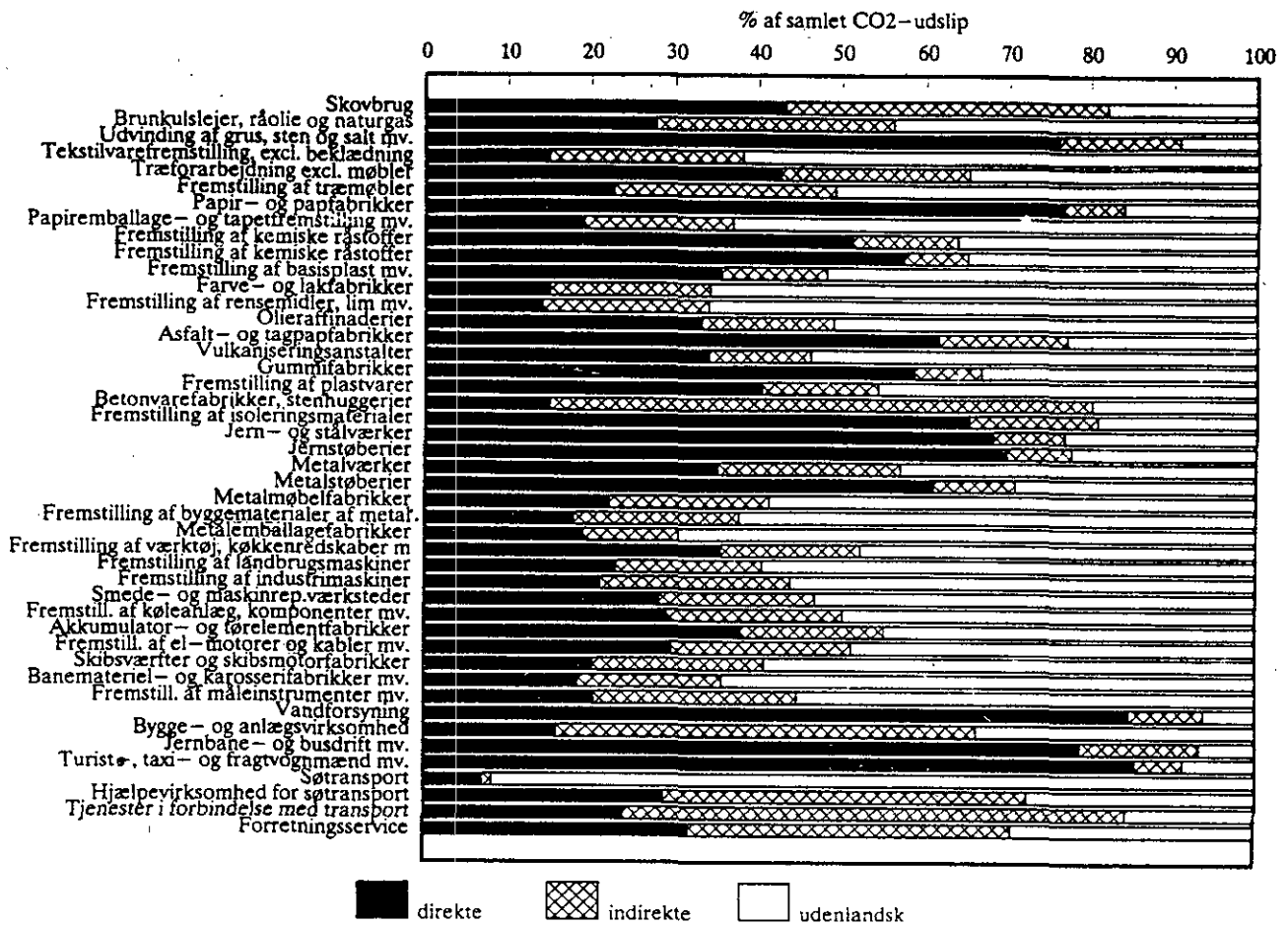
Ved at multiplicere det specifikke energiforbrug for erhvervene med emissionsfaktorerne (i princippet Tabel 1 · Tabel 2), fås den specifikke emission per produceret million kr. Tabel 3 viser den specifikke emission for de udvalgte erhvervsgrupper.

Globale emissionsfaktorer	CO2	SO2	NOx
	t/mio.kr	kg/mio.kr	kg/mio.kr
Skovbrug	20	59	98
Brunkulslejer, råolie og naturgas	37	142	130
Udvinding af grus, sten og salt mv.	160	884	632
Tekstilvarefremstilling, excl. beklædning	90	422	257
Træforarbejdning excl. møbler	112	567	388
Fremstilling af træmøbler	82	406	270
Papir- og papfabrikker	460	2907	1497
Papiremballage- og tapetfremstilling mv.	201	1115	617
Fremstilling af kemiske råstoffer	190	1037	482
Fremstilling af kemiske råstoffer	266	1509	682
Fremstilling af basisplast mv.	135	689	343
Farve- og lakfabrikker	114	564	327
Fresmtuling af rensedmidler, lim mv.	117	577	322
Olieraffinaderier	58	276	170
Asfalt- og tagpapfabrikker	238	1004	545
Vulkaniseringsanstalter	158	790	402
Gummifabrikker	153	807	367
Fremstilling af plastvarer	120	615	318
Betonvarefabrikker, stenhuggerier	201	1191	578
Fremstilling af isoleringsmaterialer	261	1448	787
Jern- og stålværker	406	1968	922
Jernstøberier	260	1424	610
Metalværker	111	475	356
Metalstøberier	124	573	333
Metalmøbefabrikker	107	503	286
Fremstilling af byggematerialer af metal	118	553	309
Metalemballagefabrikker	172	784	432
Fremstilling af værktøj, køkkenredskaber mv.	124	581	310
Fremstilling af landbrugsmaskiner	105	467	271
Fremstilling af industrimaskiner	85	390	231
Smede- og maskinrep.værksteder	77	329	242
Fremstill. af køleanlæg, komponenter mv.	87	411	226
Akkumulator- og tørerelementfabrikker	133	660	356
Fremstill. af el-motorer og kabler mv.	77	364	212
Skibsværfter og skibsmotorfabrikker	100	483	255
Banemateriel- og karosserifabrikker mv.	107	491	280
Fremstill. af måleinstrumenter mv.	56	258	159
Vandforsyning	135	773	319
Bygge- og anlægsvirksomhed	87	379	312
Jernbane- og busdrift mv.	264	643	1569
Turist-, taxi- og fragtvognmænd mv.	153	244	999
Søtransport	421	1862	2061
Hjælpevirksomhed for søtransport	34	129	128
Tjenester i forbindelse med transport	61	183	290
Forretningservice	47	217	146

Tabel 3
Specifik emission af udvalgte stoffer pr. million kr. produceret i de relevante erhvervsgrupper i dansk erhvervsliv.

Fordeling

Man kan desuden ligesom for energiindholdet få fordelingen mellem direkte og indirekte indenlandske emissioner, samt udenlandske emissioner. Som eksempel er i figur 2 vist CO₂-emissionens fordeling på de udvalgte erhvervsgrupper.



Figur 2

Fordelingen af emission af CO₂ på direkte, indirekte og udenlandsk energiforbrug for udvalgte hovedgrupper i dansk erhvervsliv.

Diskussion af metoden

Ensartedhed i brancherne

Før man bruger modellen må man gøre sig klart, hvilke forudsætninger den bygger på. Input-output-tabellerne fra Danmarks Statistik forudsætter, at produktionen og brændselmixet er ensartet i de enkelte erhvervsgrupper.

Udland = Danmark?

Desuden er de udenlandske energiforbrug beregnet under forudsætning af, at produktionsmetoderne i udlandet antages at være identiske med de indenlandske. En nærmere beskrivelse af input-output-modellerne er beskrevet i Danmarks Statistiks "Input-output modeller og analyse" (ref. 36).

Tilhør til flere brancher

Danmarks Statistiks Erhvervsgrupperingskode (ref. 37) er principielt en klassifikation af økonomiske aktiviteter. Det er ikke ualmindeligt, at en virksomhed udøver flere forskellige aktiviteter, der henregnes til hver sin branchekode. I sådanne tilfælde henføres virksomheden normalt til den

branche, der svarer til hovedaktiviteten. Som hovedaktivitet forstås den aktivitet, der giver virksomheden den største værditilvækst. Der er således en vis usikkerhed i modellen, som er afhængig af, hvor inhomogen branchen er.

Udland

Forudsætningen om produktionsmetoderne i udlandet er mere problematisk. Det er almindelig kendt, at strukturen i det danske erhvervsliv adskiller sig fra lande, som vi normalt handler med f.eks. Tyskland og Sverige. I Danmark har vi relativt mange små virksomheder og få store, mens det i Tyskland og Sverige er omvendt. Specielt energiindustrien adskiller sig markant, idet vores handelspartnere i højere grad benytter sig af f.eks. vandkraft og kernekraft, som har helt andre miljøeffekter knyttet til sig.

Man kan dog alligevel forsvare at bruge modellens resultater, hvis man giver det en marginal synsvinkel. De fleste af handelspartnerlandene benytter sig nemlig af kul, olie og naturgas som marginale energikilder. Det vil sige, at mindre ændringer i disse landes energiforbrug netop vil resultere i ændringer af forbruget af kul, olie og naturgas som dansk energiforsyning er baseret på.

Ny eller eksisterende

Endelig må man gøre sig klart, at *nystartet* produktion, der f.eks. iværksættes som konsekvens af en miljøanalyse af eksisterende produktion, med hensyn til energiforbrug og emissioner næppe vil svare til *eksisterende* produktion. Årsagen hertil skal søges dels i den løbende teknologiske udvikling og dels i en bevidst planlægning af produktionen med henblik på minimering af miljøbelastningerne.

Vurdering

Alt i alt vurderes det, at den beskrevne metode alligevel vil kunne bruges til at vurdere *størrelsesordenen* af energiindhold og emissioner af forurenende stoffer ved produktion/køb af produkter i Danmark.

Appendiks 3

Retningslinjer for et bæredygtigt skovbrug i Danmark

Skov- og Naturstyrelsen har til brug for udarbejdelsen af rapporten "Eco-labelling of Paper Products" udarbejdet dette notat om regler og retningslinjer gældende for skovbrugets drift i Danmark. Teksten er udarbejdet af Styrelsens medarbejdere Henrik J. Vinther og Peter Munk Plum og oversat af Anders Evald, dk-TEKNIK.

I 1989 blev en ny skovlov vedtaget af et stort flertal i Folketinget. Regler for et flersidigt og bæredygtigt skovbrug er en grundlæggende del af den nye lov.

Paragraf 15 i loven regulerer de vigtigste forhold i denne forbindelse. I følge denne paragraf indebærer et flersidigt og bæredygtigt skovbrug, at træproduktionen øges og forbedres samtidig med, at landskabet beskyttes, og at naturbeskyttelse, kulturarv, miljøinteresser og interesser vedrørende skovens rekreative funktioner tilgodeses. Denne type af "godt skovbrug" indebærer:

- 1) at, hvis der ikke anvendes naturlig foryngelse, så skal et areal tilplantes med velegnede planter snarest muligt efter hugst,
- 2) at nye bevoksninger skal passes ordentligt,
- 3) at tyndinger skal udføres af hensyn til skovens sundhedstilstand, produktion og stabilitet,
- 4) at renafdrift ikke må foretages, før skoven er hugstmoden,
- 5) at der ved renafdrift skal tages hensyn til dannelsen af en stabil og varieret skov,
- 6) at skovens produkter, der skal sælges, fjernes hurtigst muligt for at sikre skovens sundhed og
- 7) at skoven skal drives således, at det forstlige grundlag beskyttes eller forbedres.

Retningslinjerne for et bæredygtigt skovbrug indebærer, at det er nødvendigt med et marked såvel for de større og værdifulde produkter fra skovbruget som for de mindre produkter med lavere værdi. Med andre ord er markedet for cellulose i form af leverancer fra nåletræsbevoksninger meget vigtigt for driften af skoven.

Den nye skovlov har således som målsætning på samme tid at kombinere naturbeskyttelse og anvendelsen af skovens produkter.

Der er ikke særlige regler vedrørende brugen af gødning og pesticider i dansk skovbrug. Men retningslinjerne for et bæredygtigt skovbrug indebærer, at det må anses for rimeligt at antage et lavt forbrug af kemikalier i dansk skovbrug. Grundvand, der kommer fra typiske danske skove, indeholder mindre end 5% af den mængde gødningsstoffer, der kan findes i

grundvand fra typiske landbrugsområder. Generelt kan skovbrugsområder i Danmark betragtes som et rent miljø sammenlignet med andre anvendelser af det danske areal (landbrug, havebrug, byer etc.).

Skovloven indeholder regler for løvtræer, som er naturligt hjemmehørende i Danmark. Reglerne vedrører særligt ydre skovbryn, naturlige egekrat og mindre biotoper i skoven. Der er også regler, som giver Staten mulighed for at yde tilskud til private skovejere til etablering af skov eller rejsning af løvskov. Målet for dette støtteprogram er i løbet af få årtier at bringe arealet af løvtræ – først og fremmest bøg og eg – op på det højeste niveau, der er registreret siden 1930.

Reference for elproduktion

af Søren Dalager, dk-TEKNIK

Elektricitet fremstilles helst ud fra *vedvarende energikilder*, først og fremmest i form af *vandkraft*. Island og Norge er fra naturens hånd forsynet med så rigelige muligheder for at udvinde vandkraft, at denne energikilde kan dække hele elektricitetsforbruget. Selv om det naturligvis koster betydelige beløb at etablere de nødvendige dæmnings- og vandturbineanlæg, er drivmidlet, vandet, gratis. De to lande har derfor meget billig elektricitet til rådighed, dog på bekostning af ikke uvæsentlige indgreb i naturen.

Også i *Sverige* er der gode muligheder for at udvinde vandkraft, og denne var helt dominerende frem til omkring 1975. Som i så mange andre lande udviklede energiforbruget sig voldsomt i Sverige i løbet af 1960'erne. Regeringen stod da med valget om yderligere udbygning af vandkraften med deraf følgende ændring af vandløbenes naturlige forløb eller om at indføre en anden væsentlig energikilde til elfremstilling. Et vigtigt krav til denne kilde var, at elektriciteten skulle være *billig* af hensyn til den svenske industris konkurrenceevne (Röden, 1991).

Som bekendt faldt valget på *kernekræft* med uran som energikilde, og i mellemtiden er der opført 4 kernekraftværker med ialt 12 reaktorer. I 1989 tegnede vand- og kernekraft sig hver for ca. 50% af elproduktionen i Sverige, således at de fossile brændsler kun spillede en helt underordnet rolle.

I *Danmark* er situationen ganske anderledes; mulighederne for at producere vandkraft er helt betydningsløse i forhold til elforbruget, og selv om vi er førende i verden med hensyn til at producere vindkraft, dækker vi hermed kun ca. 2% af vort elforbrug.

Da vi således ikke på samme måde er begunstiget fra naturens hånd med vedvarende energikilder, har vi været henvist til at producere el ud fra fossile brændsler, siden 1975 - 80 primært *kul*.

Uanset, om den primære energikilde er uran eller kul, kan den deri indeholdte energi ikke omsættes direkte til elektricitet. Det er nødvendigt at gå over *højtryksdamp* som afspændes i en dampturbine. Den omsættes her til mekanisk energi. Turbinen driver en generator, som producerer det ønskede slutprodukt, højspændt vekselstrøm. Denne proces er karakteriseret ved et betydeligt *tab*, først og fremmest fordi dampen skal *kondenseres*, inden vandet fødes tilbage på kedlen. En energimængde svarende til vands fordampningsvarme skal altså fjernes, hvilket i de svenske kernekraftværker og i de danske kulkræftværker sker ved køling med havvand. I et kulkræftværk (eller for den sag skyld ethvert kraftværk, fyret med fossile eller fornybare brændsler), er der desuden et energitab med den *varme røggas*, der ledes ud.

Disse tab bevirker, at *elvirkningsgraden* er mindre end 100%. I et kernekraftværk er elvirkningsgraden således kun ca. 35%; i et moderne kulkraftværk (med afsvovling og de-NO_x (rensning for kvælstofoxider)) godt 45% (Elsam, 1991). De nyeste danske kraftværker har verdens højeste elvirkningsgrad.

Disse procent-værdier gælder ved såkaldt ren kondensationsdrift. Ved at reducere elproduktionen en smule, er det muligt at *udtage* dampen af turbinen ved en så høj temperatur, at kondensationen kan ske ved køling med fjernvarmereturvand. Herved nyttiggøres en meget stor del af den energimængde, der ellers ville blive kølet bort med havvand. Der er i Danmark gjort meget store investeringer i fjernvarmetransmissionsanlæg (bl.a. CTR, VEKS, TVIS) for i størst muligt omfang at kunne nyttiggøre denne spildvarme fra vore centrale kraftværker til opvarmningsformål.

Som et resultat heraf opnåede de danske kraftværker i 1991 en samlet udnyttelse af den indfyrede energi på 53,4%, heraf i form af el 35,1% (Danske Elværkers Forening, 1992). I 1990 var de to værdier henholdsvis 55,7 og 34,0%. Årsagen til denne ændring er, at 1990 var et år med netto-el-import (fra Sverige og Norge), mens der i 1991 skete en netto-eksport (til Tyskland).

Det kan *diskuteres*, om der ved omregning fra el til primær energi (kul) skal ses alene på elvirkningsgraden eller på den samlede energiudnyttelse. I denne undersøgelse er der – for så vidt angår *marginale elforbrug* – forudsat en elvirkningsgrad på 40% og ingen varmeproduktion. Den CO₂-afgift, som pålægges industrien fra 1993, er beregnet på samme måde. D.v.s. at der regnes med, at der skal indfyres en energimængde på 2,5 kWh i form af kul for at producere 1 kWh el. Herved kan elforbrug i Danmark belastes med de til kulfyrring knyttede forureningsemissioner.

I princippet kunne man også producere fjernvarme på kernekraftværker, men dette praktiseres ikke, i hvert fald ikke i Sverige. Men i øvrigt ser man normalt kun på nettoproduktionen ved kernekraftværker, idet brændselsudgiften (uran) kun spiller en beskednen rolle.

Når hertil kommer, at det ved vandkraft ikke på samme måde er muligt at tale om bruttoforbrug, nettoproduktion og tab, kan elforbruget i Sverige ikke som i Danmark omregnes til et forbrug af primær (fossil) energi. Det kan kun omregnes under givne antagelser, f.eks. den, at elektriciteten var produceret på samme måde som i Danmark.

I nærværende undersøgelse, der omfatter både Sverige og Danmark, anses elektricitet derfor som en *ressource*, men belastet med de til produktionen knyttede emissioner.



For fuldstændighedens skyld skal det nævnes, at der i Danmark (og Sverige) også produceres elektricitet på *decentrale kraftvarmeværker*. Mens elproduktion er det primære på de centrale værker, som derved, især om sommeren, altid køler en del varme bort ved kondensation med havvand, er det på de decentrale værker det aktuelle varmeforbrug, der er afgørende for belastningen. De to (i nyere tid) første danske offentlige decentrale kraftvarmeværker (Herning og Randers) er kulfyrede, men efter aftalen af 1986 mellem regeringen og Socialdemokratiet er der bygget et antal værker baseret på indenlandske brændsler (naturgas, halm og affald, herunder biogas). Det er et væsentligt element i den *danske energipolitik*, jfr. bl.a. (Energiministeriet 1990), at fremme udbredelsen af kraftvarme under brug af indenlandske brændsler, og fra 1992.05.15, hvor dele af "CO₂-pakken" trådte i kraft, ydes der et *statstilskud* "på 10 øre pr. kWh til elproducenter for den mængde elektricitet, der fremstilles ved vindkraft, biogas, halm, flis og anden vedvarende energi eller andre fornyelige brændsler samt ved naturgasbaseret decentral kraftvarmeproduktion, og som leveres til elforsyningsnettet". Af bemærkningerne til lovforslaget fremgår det, at *affald* er blandt de omfattede energikilder.

Til "et begrænset antal ... forsøgs- og demonstrationsanlæg" baseret på halm og flis (samt til vindkraft, vandkraft og biogas) ydes yderligere 17 øre pr. kWh leveret til nettet.

Selv om de decentrale værker således tegner sig for en voksende del af den danske elproduktion, vil de centrale kraftværker ikke kunne undværes, og de vil skulle udglatte de udsving i elproduktionen, der optræder i det decentrale system. Også af den grund anses det for mest rimeligt i dette projekt, at vurdere et marginalt dansk elforbrug respektive en dansk elbesparelse ud fra de store værkers forhold, d.v.s. under den fornævnte antagelse om en elvirkningsgrad på 40% og ren kondensationsdrift.

Referencer

Danske Elværkers Forening (1992): Statistik 1991 - Dansk Elforsyning. Frederiksberg C.

Elsam (1991): Elsam klar til at bygge to nye højeffektive kraftværker. Elsam-Posten nr. 11, p. 2.

Energiministeriet (1990): Energi 2000. København K.

Röden, J.O.G. (1991): Experience of the Nordic Countries in Tackling the Environmental Impacts of Energy Supply and Use - The Swedish Contribution. A Report Prepared for the WEC Commission: Energy for Tomorrow's World. Stockholm, 1991 (og World Energy Council, London, 1992).

Litteratur- og referenceliste

1. *Ny FN-statistik for skovressourcer i de tempererede egne*
/Michael Lindal, Sektion for Skovbrug KVL, Skoven nr. 8, 1992
2. *Træ og miljø*
/Claus Buhl Sørensen, Trærådet/Træteknik, Dansk Teknologisk Institut, artikel under publicering, november 1992
3. *Eco-labelling of Paper Products*
Miljøprojekt nr. 179
/Per Olof Bethge, Miljøstyrelsen 1991
4. *Input-output tabeller og analyser 1987*
/Danmarks Statistik, marts 1991
5. *Livsforløbsanalyser af decentrale kraftvarmeværker - energi- og miljøanalyse*
/Preben Buhl Pedersen, dk-TEKNIK (Dansk Kedelforening), september 1991
6. *Aske fra flisfyrede varmeværker*
Kemisk sammensætning og anvendelsesmuligheder
/Pieter D. Kofman, Skovteknisk Institut, 1987
7. *Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost til jordbrugsformål*
/Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 736 af 26. oktober 1989
8. *Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer*
Miljøprojekt nr. 131, 1990
/Kim Christiansen et al., Miljøstyrelsen, 1990
9. *Indeklimamæssig vurdering af byggevarer*
/Peter Andreas Nielsen, Statens Byggeforskningsinstitut, Foredrag ved temamøde "Miljøvurdering af byggeprojekter", Dansk Ingeniørforening, København, oktober 1992
10. *Vejledende priser pr. 1. marts 1992*
/Danske Skoves Handelskontor, 1992
11. *Overenskomst om løn og arbejdsforhold for skovarbejdere mellem Arbejdsgiverforeningen for Skov og Landbrug og Specialarbejderforbundet i Danmark*
/Arbejdsgiverforeningen for Skov og Landbrug, april 1992
12. *Data til dækningsbidragsberegninger for privatskovbruget pr. 15. januar 1989*
/Skovteknisk Institut, København, januar 1987
13. *Skovbruget bør selv reducere kemikalieforbruget*
/Claus Jespersen, Skoven, nr. 3 1989, s. 96-99

14. *Personlig samtale*
/Paul Christensen, Forskningscentret for Skov & Landskab, januar 1992
15. *Skøn over skovbrugets kulturarealer og forbrug af bekæmpelsesmidler*
/Paul Christensen, SI Information, Skovteknisk Institut, oktober 1990
16. *Midler forbydes, Skovbruget efterlyser EF-melding*
/Landsbladet, Mark, 19. april 1991
17. *Skøn over skovbrugets forbrug af gødning og pesticider*
/Paul Christensen, Skovteknisk Institut, januar 1987
18. *Limträproduktionen i de nordiska länderna 1967-1991*
/NLN - Nordiske Limtrænemnd, Generalsekretariatet, Reykjavik, 1992
19. *Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af byggematerialer*
/Sigurd Andersen, Institut for Husbygning, DTH, 1979
20. *Personlige samtaler*
/Sigurd Andersen, i-68 Rådgivende Ingeniørfirma K/S, maj 1992 og
Jørn Dinesen, SBI, oktober 1992
21. *Træmaterialers energiforbrug og miljøbelastning*
/Jostein Byhre Baardsen, Norsk Treteknisk Institut. Indlæg i *Bygningers totalenergiforbrug og miljøbelastning*, Konference i København den 11. september 1990, SBI-Meddelelse 85, Statens Byggeforskningsinstitut 1991
22. *Personlig samtale*
/Viggo Øhlenschläger, Limfjordstræ, september 1992
23. *Personlig samtale*
/Sven Erik Anderson, Casco Lim, Sverige, september 1992
24. *Statistik 1991*
/Danske Elværkers Forening, Frederiksberg 1992
25. *Livscyklusanalyse af stål i forskellige anvendelsessituationer*
/Karl Kjeldgaard, IPU, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 10, 1991
26. *Panorama of EC industries 1991-1992*
/Commision of the European Communities, ISBN 92-826-3103-6
27. *Environmental Impacts of Packaging Production, Draft Report*
/CSG/Tellus Packaging Study, The Council of State Governments, Tellus Institute, april 1990
28. *Beretning og regnskab 1991 - Grønt regnskab*
/Det Danske Stålvalseværk A/S 1992
29. *Personlig samtale*
/Anders Schmidt, dk-TEKNIK, november 1992
30. *Some Environmental Policy Implications of Recycling Paper Products in Western Europa*

/Yrjö Virtanen & Sten Nilsson, Executive Report 22, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Østrig, juli 1992

31. *Environmental load from packaging materials, Summary report*
/The Finnish Standards Institution, Helsinki, Finland, september 1992
32. *Forbrænding af forurenede spildtræ, Fase 1: Litteraturredat*
/Lise Terkildsen, dk-TEKNIK (Dansk Kedelforening), september 1992
33. *Renere teknolog. på energiområdet*
/Gydesen et al., Miljøprojekt nr. 138, Miljøstyrelsen 1990
34. *Erhvervenes direkte, indirekte og globale bruttoenergiforbrug 1986*
/Specialudskrift fra Danmarks Statistik, 8. august 1990
35. *Danmarks Energistrømme 1988*
/Energistyrelsen 1989.06.10.
36. *Input-output tabeller og analyser 1986*
/Danmarks Statistik, Marts 1990.
37. *Danmarks Statistiks Erhvervsgrupperingskode, DSE 77*
/Danmarks Statistik 1986.

