

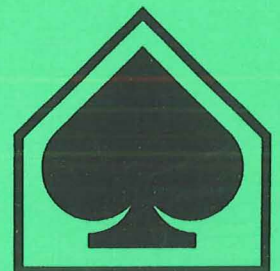
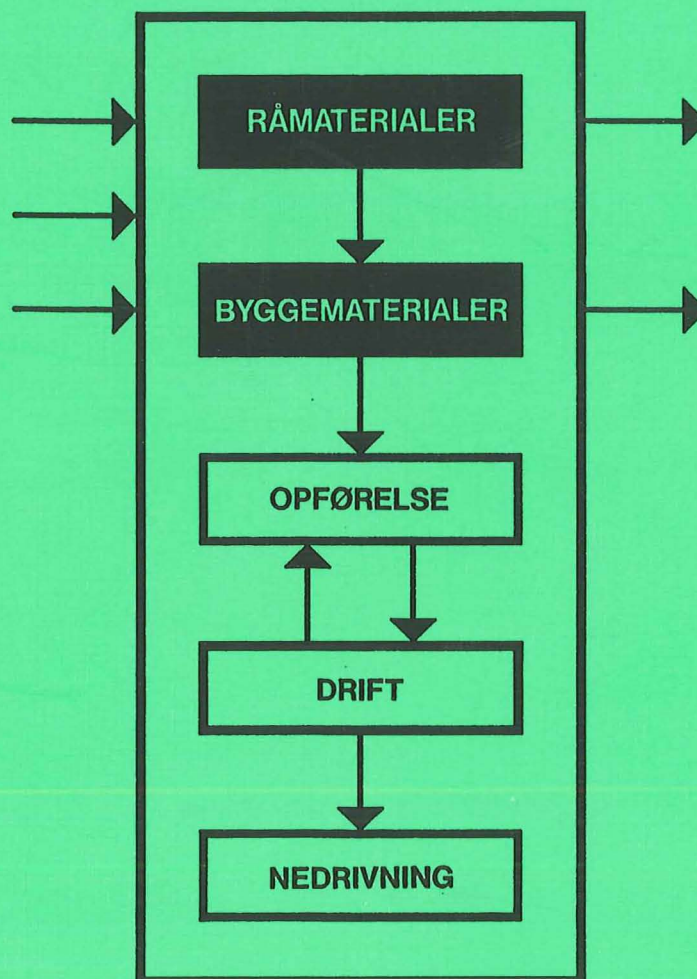
SBI-publik.

# Miljødata for udvalgte byggematerialer



Forbrug af fossile brændsler og emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>

SBI-MEDDELELSE 113 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1995



# Miljødata for udvalgte byggematerialer

Forbrug af fossile brændsler og emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>

HANNE KROGH  
KLAUS HANSEN  
HELENE H. KNUDSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

00513 P

*ex-2*  
12 DEC. 1995



**SBI-meddelelser** er foreløbige rapporteringer og beretninger om forundersøgelser, konferencer, symposier mv.

**SBI-publikationer** udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement. Instituttets årsberetning, publikationskatalog og publiceringsdiskette er gratis og kan rekvireres fra SBI.

**SBI-abonnement** er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0906-6.

ISSN 0107-4180.

Pris: Kr. 112,50 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 500.

Tekstbehandling: Annette Pilgaard Schmidt.

Tegninger: Ole P. H. Olesen m.fl.

Omslag: Henning Holmsted.

Tryk: SBI, Hørsholm.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Telefon 42 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

*SBI-meddelelse 113: Miljødata for udvalgte byggematerialer.*

*Forbrug af fossile brændsler og emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. 1995.*

# Indhold

|  |    |
|--|----|
| 1 Forord   | 4  |
| 2 Indledning   | 5  |
| 3 Sammenfatning  | 7  |
| 3.1 Hovedresultater  | 7  |
| 3.2 Konklusioner   | 10 |
| 4 Dataindsamling   | 13 |
| 4.1 Principper for dataindsamling                                | 13 |
| 4.2 Data for brændsler og transport                              | 19 |
| 5 Data for byggematerialer                                       | 22 |
| 5.1 Præsentation af de indsamlede data                           | 22 |
| 5.2 Formalet, brændt kalk  | 23 |
| 5.3 Cement   | 25 |
| 5.4 Beton  | 27 |
| 5.5 Porebeton  | 29 |
| 5.6 Gipsplader   | 30 |
| 5.7 Tegl   | 32 |
| 5.8 Stålprodukter  | 34 |
| 6 Diskussion   | 36 |
| 6.1 Valg under dataindsamlingen                                  | 36 |
| 6.2 Sammenligning med tidligere resultater                       | 38 |
| 6.3 Energiforbrug og emissioner for lavenergihuse                | 39 |
| 7 Kilder og referencer   | 41 |
| 8 Appendiks  | 44 |
| 8.1 Brændselsforbrug og emissioner ved elektricitetsfremstilling | 44 |
| 9 Summary  | 47 |

# 1 Forord

I de senere år er der opstået en voksende forståelse for, at valget af byggematerialer også bør ske under hensyntagen til de miljøbelastninger, der knytter sig til materialerne i hele deres livsforløb.

I den forbindelse er det vigtigt at se på energiforbruget og især på de forbrug af brændsler og de emissioner af bl.a. CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>, som knytter sig hertil.

Denne SBI-meddelelse skal, ligesom SBI-rapport 224: Livscyklus-baseret bygningsprojektering, 1993, og SBI-meddelelse 108: Energi- og miljøanalyser af bygninger, 1995, understøtte en bredere indsats for at reducere de miljøbelastninger, som knytter sig til byggematerialers og bygningsdeles livsforløb. Meddelelsen fremlægger aktuelle data for en række vigtige byggematerialer og beskriver, hvordan data for specifikke produkter bør indsamles og bearbejdes. Der er indsamlet data for forbrug af fossile brændsler og emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> ved fremstilling af formalet, brændt kalk, cement, fabriksbeton, porebeton, gipsplader, tegl samt stålplader og stålprofiler. Dataene er indsamlet i tæt kontakt med følgende virksomheder:

- Faxe Kalk
- Aalborg Portland
- 4 K-Beton A/S
- H+H-Industri A/S
- Gyproc A/S
- Petersminde Teglværk A/S
- Det Danske Stålvalseværk A/S

Virksomhederne takkes hermed for den imødekommenhed, de har udvist i forbindelse med dataindsamlingen. Det har vist sig, at flere virksomheder længe har arbejdet på at reducere miljøbelastningerne fra fremstillingsprocesserne bl.a. ved at reducere energiforbruget og de hertil knyttede emissioner.

Meddelelsen udgør sammen med SBI-meddelelse 108 rapporteringen af projektet *Anvendelse af beregningsprogrammer og databaser til energi- og miljøanalyser af byggeri*, som er gennemført med støtte fra Energiministeriets forskningsprogram EFP-92 under området energi-anvendelse i bygninger, journal nr. 1213/92-0011.

Dataindsamlingen er hovedsagelig foretaget af Helene H. Knudsen, i-68 rådgivende ingeniørfirma K/S, og fra foråret 1993 af Hanne Krogh, SBI. I diskussioner og videreudvikling af projektet har Klaus Hansen, Ebbe H. Petersen og Jørn Dinesen, SBI, endvidere deltaget.

Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Energi og Indeklima, oktober 1995  
Erik Christophersen

# 2 Indledning

En miljøvurdering af et byggemateriale eller en bygningsdel kan udføres som en livscyklusvurdering, hvor de vigtigste miljøparametre udpeges og opgøres for hele livsforløbet. Udpegningen af miljøparametre tager udgangspunkt i en vurdering af, hvilke parametre, der er væsentlige for det pågældende materiale eller den pågældende bygningsdel. Resultatet af opgørelsen kan enten vurderes direkte eller omregnes til miljøeffekter, som derefter underkastes en samlet vurdering. Indsamling af miljødata er en nødvendig del af miljøvurderingen.

Dataindsamlingen og senere ajourføringer heraf bør ske i tæt samarbejde med producenterne, og arbejdet kan evt. kombineres med indsamlingen af data til grønne regnskaber eller til miljødeklarationer. Det er også vigtigt at fremhæve, at der sideløbende med dataindsamlingen bør udarbejdes opgørelses- og vurderingsmetoder i tæt samarbejde med producenter og projekterende, således at dataene kan nyttiggøres til miljøvurdering af de nu anvendte byggetekniske løsninger og dermed få indflydelse på udviklingen af nye løsninger.

De her indsamlede data for energiforbrug, forbrug af fossile brændsler og emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for en række væsentlige materialer kan således indgå som en del af grundlaget for miljøvurderingen og dermed for valget af byggematerialer. Det er dog vigtigt at slå fast, at valget af byggetekniske løsninger selvfølgelig fortsat bør baseres på en samlet vurdering, som også omfatter ydeevne, udseende, byggeteknisk kvalitet og økonomi.

Foreliggende og igangværende livscyklusvurderinger af en række byggematerialer og bygningsdele (1, 2, 3 og 4) viser, at der er behov for tidssvarende data, og at det er vigtigt at vurdere og beskrive, hvordan data er indsamlet og bearbejdet.

Der er indsamlet data for følgende råmaterialer og byggematerialer:

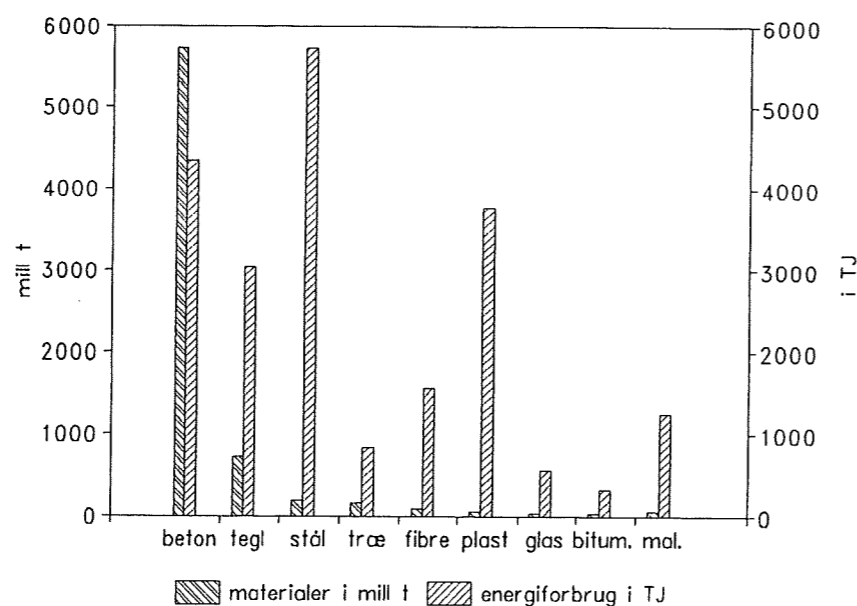
- Formalet, brændt kalk
- Flere cementtyper
- Flere kvaliteter fabriksbeton
- Porebetonblokke og -elementer
- Gipsplader
- Røde og gule mursten af tegl
- Stålplader og -profiler.

Energiforbruget til fremstilling af disse byggematerialer udgør i alt ca. 60% af den totale energi, der pr. år bruges til opførelse af nye bygninger og vedligehold af eksisterende bygninger. Figur 1 viser, at også materialer, der anvendes i mindre mængder, som fx plastprodukter, mineralfibermaterialer og maling kan indebære et stort energiforbrug. I kommende projekter vil der blive indsamlet data for flere andre materialer hentet fra igangværende projekter om miljømærkning (5 og 6).



Data fra denne rapport indgår i et nordisk projekt, hvor data fra alle de nordiske lande koordineres og vurderes (7), ligesom de indsamlede data vil blive inddraget i et europæisk projekt om metoder til miljøvurdering af bygningsdele og byggematerialer (4).

Hovedresultater og -konklusioner er angivet i sammenfatningen. Mere detaljerede data og oplysninger om de enkelte materialer er beskrevet i kapitlet om byggematerialer. De anvendte metoder for indsamling af data og for allokering af energi er beskrevet i kapitlet om dataindsamling. Endelig er metoderne og resultaterne diskuteret i det afsluttende kapitel, bl.a. er de indsamlede data sammenlignet med tidligere indsamlede data og med eksisterende data for varme- og elforbrug i lavenergihuse.



Figur 1. Materialeforbrug til opførelse, ombygning og vedligehold af bygninger i 1989 samt energiforbrug til fremstilling af disse materialer (8 og 9).

## 3 Sammenfatning

Denne SBI-meddelelse indeholder data for energiforbrug og emissioner knyttet til fremstillingen af en række vigtige råmaterialer og byggematerialer. Energiforbruget omfatter hele fremstillingsforløbet fra udvinding af råstoffer til aflevering af de færdige byggematerialer "ved fabriksport". De indsamlede data kan bruges ved valg af materialer til bygningsdele og bygninger, når der lægges vægt på en formindskelse af forbruget af fossile brændsler eller en formindskelse af emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. I en miljøvurdering af byggematerialer bør hele livsforløbet iagttages, ligesom en række andre miljøparametre også bør inddrages i vurderingen.

Resultaterne angives dels som et netto- og et bruttoenergiforbrug, dels som et forbrug af kul, olie og naturgas. Endvidere angives emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. Alle resultaterne er beregnet ud fra data indsamlet direkte hos en række producenter. Hovedresultaterne er kort opsummeret i det følgende afsnit.

Resultaterne afhænger i høj grad af de valg og afgrænsninger, der foretages under indsamlingen af data og den senere bearbejdning af disse. Ved præsentationen af resultaterne er det derfor væsentligt at beskrive og diskutere disse valg og afgrænsninger, hvilket gøres i afsnittet: Konklusioner, side 10.

### 3.1 Hovedresultater

#### Nettoenergiforbrug

Nettoenergiforbruget omfatter de energiforbrug, som direkte medgår til udvinding, transport og fremstilling af de indgående råstoffer, råmaterialer og byggematerialer, se tabel 1.

Producenterne har umiddelbart kunnet give oplysninger om energiforbruget til de processer, som producenterne selv forestår. Vanskeligere er det at få oplysninger om energiforbrug til råmaterialer, især råmaterialer der importeres. Disse data er i vid udstrækning hentet fra litteraturen.

Der er ikke her regnet med energiforbrug til produktion af råmaterialer, der opstår som restprodukter fra andre processer, fx flyveaske og industrigips.

Tabel 1. Nettoenergiforbrug til fremstilling af byggematerialer. Elforbruget er inkluderet i energiforbruget i kolonne 1 og derfor angivet i parentes.

| Byggematerialer                | Nettoenergi<br>MJ/t | Elforbrug<br>MJ/t |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|
| Formalet, brændt kalk          | 8340                | (225)             |
| Cement                         |                     |                   |
| - Rapid                        | 4750                | (490)             |
| - Standard                     | 3730                | (430)             |
| - Hvid                         | 8300                | (440)             |
| - Lavalkali<br>sulfatbestandig | 7020                | (380)             |
| Beton                          |                     |                   |
| - passiv miljøklasse           | 375                 | (39)              |
| - moderat miljøklasse          | 490                 | (51)              |
| - aggressiv miljøklasse        | 915                 | (52)              |
| Porebeton                      |                     |                   |
| - blokke                       | 3900                | (375)             |
| - elementer                    | 4540                | (435)             |
| Gipsplader                     | 3550                | (303)             |
| Mursten af tegl                |                     |                   |
| - gule                         | 2500                | (164)             |
| - røde                         | 2150                | (164)             |
| Stål                           |                     |                   |
| - plader                       | 10000               | (2980)            |
| - profiler                     | 8050                | (2730)            |

### Bruttoenergiforbrug

Bruttoenergiforbruget omfatter ud over nettoenergiforbruget tillige tab af energi ved produktion og levering af elektricitet samt energiforbrug ved udvinding, transport og eventuelt forarbejdning af kul, olie og naturgas, "precombustion energy", se tabel 2. Tabellen giver også det samlede forbrug af henholdsvis kul, olie og naturgas. Emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> knyttet til bruttoenergiforbruget er angivet i tabel 3. Disse emissioner er fortrinsvis beregnet ud fra emissionsfaktorer for brændslerne. For formalet, brændt kalk er emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> målt, og for cement er emissionen af SO<sub>2</sub> målt.

Tabel 2. Bruttoenergiforbruget samt forbruget af kul, olie og naturgas til fremstilling af byggematerialer. "Precombustion energy" (tal i parentes) er inkluderet i energiforbruget.

| Byggematerialer                | Bruttoenergi<br>MJ/t |                      | Kul<br>kg/t                           | Olie<br>kg/t | Naturgas<br>Nm <sup>3</sup> /t <sup>4)</sup> |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|--------------|--|
| Formalet, brændt kalk          | 9590                 | (866)                | 283                                   | 37           | 2,0  |
| Cement                         |                      |                      |                                       |              |  |
| - Rapid                        | 6140                 | (553)                | 206                                   | 8,8          | 0,51   |
| - Standard                     | 4900                 | (442)                | 164                                   | 7,6          | 0,45   |
| - Hvid                         | 9950                 | (900)                | 44                                    | 48           | 0,46   |
| - Lavalkali<br>sulfatbestandig | 8440                 | (764)                | 188 <sup>1)</sup><br>52 <sup>1)</sup> | 9,1          | 0,40   |
| Beton                          |                      |                      |                                       |              |  |
| - passiv miljøklasse           | 485                  | (44)                 | 14                                    | 2,0          | 0,040  |
| - moderat miljøklasse          | 633                  | (57)                 | 19                                    | 2,3          | 0,052  |
| - aggressiv miljøklasse        | 1100                 | (100)                | 27                                    | 3,2          | 0,054  |
| Porebeton                      |                      |                      |                                       |              |  |
| - blokke                       | 4900                 | (364)                | 91                                    | 12           | 44   |
| - elementer                    | 5720                 | (422)                | 107                                   | 13           | 52   |
| Gipsplader                     | 4300                 | (235)                | 31                                    | 39           | 23 <sup>2)</sup>                             |
| Mursten af tegl                |                      |                      |                                       |              |  |
| - gule                         | 2940                 | (160)                | 17                                    | 0,64         | 59   |
| - røde                         | 2580                 | (142)                | 17                                    | 0,64         | 50   |
| Stål                           |                      |                      |                                       |              |  |
| - plader                       | 16330                | (1215) <sup>3)</sup> | 406                                   | 8,9          | 87   |
| - profiler                     | 13700                | (1010)               | 353                                   | 8,1          | 52   |

<sup>1)</sup> Mængden af Pet-coke, et restprodukt fra olieraffinerings.

<sup>2)</sup> Spildgas fra raffinaderi.

<sup>3)</sup> Det er ikke muligt at omregne hele energiforbruget til et forbrug af fossile brændsler.

<sup>4)</sup> Nm<sup>3</sup> = normalkubikmeter (ved 0 °C og 1 atm).

Tabel 3. Bruttoenergiforbruget samt emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> ved fremstilling af byggematerialer.

| Byggematerialer                    | Bruttoenergi<br>MJ/t | Emissioner           |                       |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|                                    |                      | t CO <sub>2</sub> /t | kg SO <sub>2</sub> /t |
| Formalet, brændt kalk              | 9590                 | 1,6                  | 1,0                   |
| Cement                             |                      |                      |                       |
| - Rapid                            | 6140                 | 1,0                  | 0,43                  |
| - Standard                         | 4900                 | 0,83                 | 0,39                  |
| - Hvid                             | 9950                 | 1,5                  | 2,9                   |
| - Lavalkali<br>sulfatbestandig vgh | 8440                 | 1,3                  | 1,0                   |
| Beton                              |                      |                      |                       |
| - passiv miljøklasse               | 485                  | 0,071                | 0,040                 |
| - moderat miljøklasse              | 633                  | 0,095                | 0,050                 |
| - aggressiv miljøklasse            | 1100                 | 0,16                 | 0,15                  |
| Porebeton                          |                      |                      |                       |
| - blokke                           | 4900                 | 0,52                 | 0,48                  |
| - elementer                        | 5720                 | 0,61                 | 0,56                  |
| Gipsplader                         | 4300                 | 0,22                 | 1,2                   |
| Mursten af tegl                    |                      |                      |                       |
| - gule                             | 2940                 | 0,26                 | 0,34                  |
| - røde                             | 2580                 | 0,15                 | 0,14                  |
| Stål                               |                      |                      |                       |
| - plader                           | 16330                | 1,7 <sup>1)</sup>    | 4,0                   |
| - profiler                         | 13700                | 1,4                  | 3,5                   |

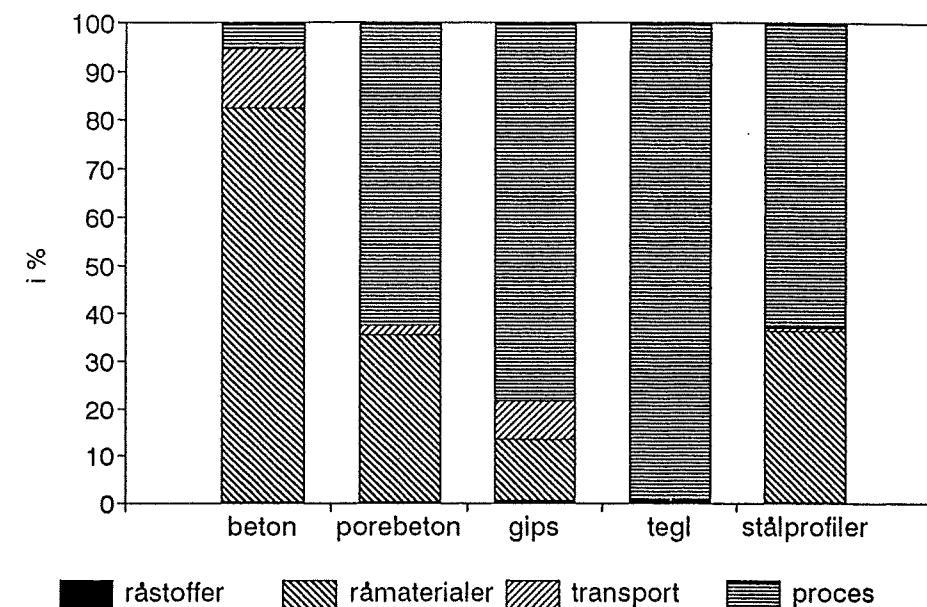
<sup>1)</sup> Det er ikke muligt at udregne emissioner fra hele energiforbruget.

### 3.2 Konklusioner

Med denne meddelelse er der dels fremlagt aktuelle energi- og emissionsdata for fremstillingen af nogle vigtige byggematerialer, dels beskrevet og diskuteret en række valg, som må træffes ved indsamlingen og bearbejdningen af sådanne data. Det kan konkluderes:

- at energiforbruget især er stort til varmekrævende processer og meget mindre til mekaniske processer
- at også tabet ved elfremstillingen og fremskaffelsen af brændsler bidrager væsentligt til bruttoenergiforbruget
- at der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem bruttoenergiforbruget og emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>
- at energiforbruget til fremstillingen af et givet byggemateriale kan variere betydeligt.

Endelig viser en analyse af det samlede energiforbrug til fremstilling og drift af lavenergi-huse, at energiforbruget til fremstilling af byggematerialer spiller en væsentlig rolle.



Figur 2. Nettoenergiforbruget fordelt på energiforbrug til råstoffer, råmaterialer, transport samt processer knyttet til den endelige fremstilling af de betragtede byggematerialer.

Det er især de varmekrævende fremstillingsprocesser, som bidrager med et stort energiforbrug, se figur 2. Dette gælder især brændings- og smelteprocesser ved høj temperatur (1000-1500 °C), men også andre processer ved lavere temperaturer.

Energiforbruget til transport og mekaniske processer ved fx råstofudvinding spiller en mindre rolle for de fleste materialer. Derimod bidrager tab og energiforbrug ved fremskaffelse af brændsler og elektricitet med store andele af bruttoenergiforbruget, i alt 10-40%, størst for processer med et stort elforbrug. Det er altså nødvendigt at medtage disse tab og energiforbrug, hvis man ønsker en fuldstændig vurdering af forbruget af energiråstoffer.

Fordi tabet ved fremstilling af elektricitet spiller en væsentlig rolle, er det også vigtigt at tage stilling til, hvordan energiforbruget og emissionerne fordeles på elektricitet og varme fra kraft-varmeverker. Her er anvendt en virkningsgrad på 0,37 for el og 1,35 for varme, se appendiks, side 45. For restprodukter og genanvendte materialer, fx flyveaske og stålsrot, er der ikke tilskrevet et energiforbrug.

Der er under indsamlingen af data lagt vægt på at vurdere, hvilke processer der bidrager mærkbart til energiforbruget. Derfor er bl.a. energiforbrug til fremstilling af produktionsudstyr og -bygninger ikke medtaget. I den forbindelse er det vigtigt at huske, at de her fremlagte data alene vedrører fremstillingen af byggematerialer. Energiforbrug til transport til byggeplads, opførelse, vedligehold, nedrivning og bortskaffelse skal vurderes og om nødvendigt medtages i en mere fuldstændig undersøgelse.

For emissionerne er der ikke nogen entydig sammenhæng mellem energiforbrug og emissionsmængde. For de undersøgte materialer emitteres 50-170 kg CO<sub>2</sub> og 70-280 g SO<sub>2</sub> pr. GJ bruttoenergiforbrug. Variationen skyldes dels at brændslerne har forskellig emissionsfak-

tor, se tabel 6, side 20, dels at de anvendte processer kan øve indflydelse på emissionsmængderne.

De indsamlede data er specifikke for de udvalgte producenter og giver dermed ikke et præcist billede af den variation, som vil knytte sig til generelle data for de udvalgte produkttyper. Dette vil der efterfølgende blive arbejdet med. Sammenligningerne med tidligere data og oplysninger fra en enkelt producent og en enkelt branche tyder dog på, at variationen er betydelig.

Variationen kan skyldes forskelle vedrørende råmaterialer, produktionsmetoder, energistyring og udnyttelse af produktionskapacitet, også for den enkelte producent. Sammenligningen med tidligere data tyder på, at der for de fleste materialer er sket en reduktion af energiforbruget siden 1979.

Endelig viser analysen af de samlede energiforbrug til lavenergi-huse opvarmet med kraft-varme, at energiforbrug og emissioner knyttet til fremstillingen af byggematerialer bidrager væsentligt til bygningers samlede forbrug og emissioner. Ca. 13% af CO<sub>2</sub>-emissionen pr. år kan tilskrives materialernes fremstilling, når materialeforbruget iagttages over en 50 årig periode. Ca. 52% af CO<sub>2</sub>-emissionen pr. år kan tilskrives el-forbruget. Det er i den forbindelse vigtigt at fremhæve, at medens opvarmningen mange steder kan ske ved anvendelse af spildvarme og vedvarende energi, så er fremstillingen af materialer i hovedsagen afhængig af højværdige energiformer.

## 4 Dataindsamling

I dette kapitel beskrives principperne for dataindsamlingen, herunder systemgrænser, datatype og datakilder, indsamlingsmetode, beregninger samt principper for allokering af energi. Desuden gives en oversigt over data for brændsler og for transport.

### 4.1 Principper for dataindsamling

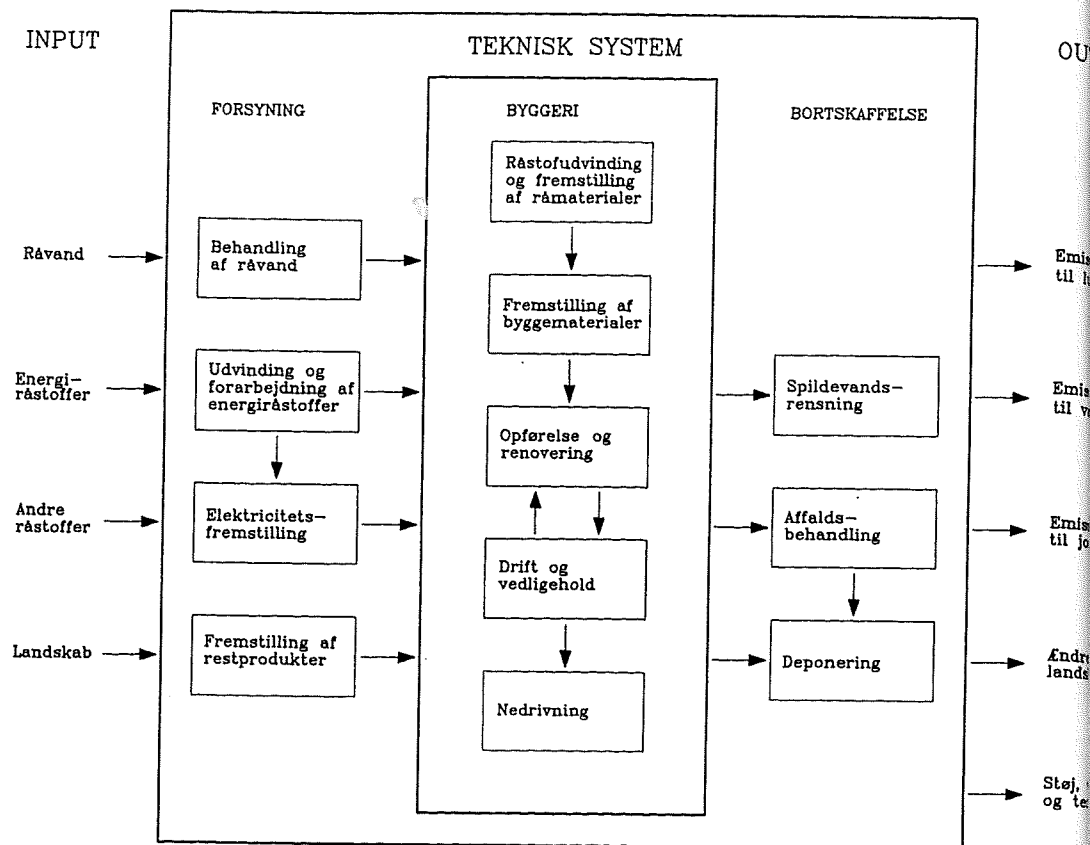
Inden dataindsamlingen begynder skal det system, for hvilket der indsamles data, afgrænses, og der skal vælges hvilken type data, der skal indsamles. Typen af data fastlægger, hvilke datakilder og hvilken indsamlingsmetode der skal benyttes. Resultaterne skal præsenteres sammen med en beskrivelse, der gør det let at sammenligne de indsamlede data med data fra andre kilder.

#### Systemgrænser

Ved en fuldstændig livscyklusvurdering af en bygning opgøres miljøparametrene for hele "det tekniske system", som omfatter alle processer fra udvinding af råstoffer til deponering af affaldet. Systemgrænsen for det tekniske system er vist i figur 3. I figuren er ligeledes vist systemgrænsen for selve bygningen. De indsamlede data omfatter udvinding og bearbejdning af råstoffer samt fremstilling af råmaterialer og byggematerialer, se figur 3. Transport af materialer til byggeplads er ikke medtaget.

Ved byggematerialer forstås her materialer, som leveres til byggepladsen i forbindelse med opførelse, vedligehold og renovering af bygningen. Ved råstoffer forstås materialer, som udvindes direkte fra naturen. Ved råmaterialer forstås materialer, der har gennemgået en væsentlig forarbejdning, fx formalet, brændt kalk, cement og råjern. Ved restprodukter forstås produkter, der er opstået som affald ved en anden produktion, fx afsvovlingsgips (eller industrigips), flyveaske, mikrosilica og kisaske.

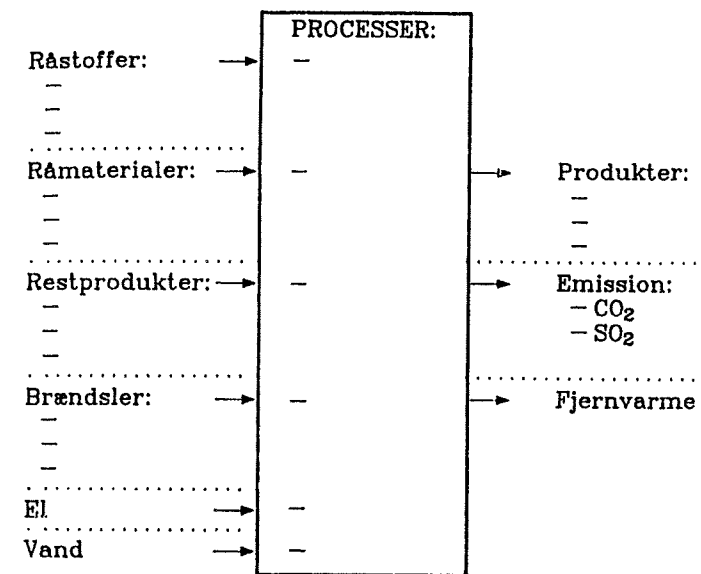




Figur 3. Figuren viser systemgrænsen for det tekniske system og for en bygning. Endvidere er input og output til det tekniske system vist.

Dataindsamlingen omfatter de to første faser af bygningens livsforløb.

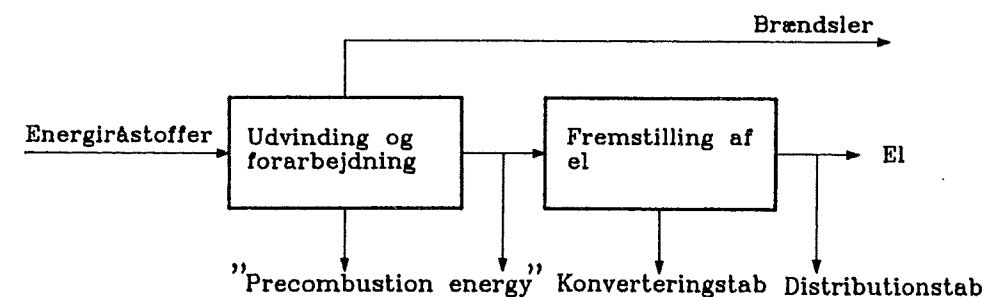
Ved de gennemførte interview er systemgrænsen lagt omkring produktionsstedet, se figur 4. Dvs. at producenten har oplyst data for forbrug af råstoffer, råmaterialer, brændsler og elektricitet samt data for produktionsmængde og mængde af varme, der sælges som fjernvarme. Desuden har producenten oplyst, om der sker spild under produktionen. Producenten har også givet data fra målinger af emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. Data for de øvrige input og output er hentet fra litteraturen.



Figur 4. Figuren viser input og output ved fremstilling af et byggemateriale. Systemgrænsen er lagt omkring produktionsstedet.

Ud fra oplysninger fra producenten beregnes et nettoenergiforbrug. Det omfatter de energimængder, der er anvendt til råstofudvinding, forarbejdning af råstoffer, fremstilling af råmaterialer og byggematerialer samt transport af råstoffer og råmaterialer til produktionsstedet. I dette energiforbrug er også inkluderet energiforbruget til opvarmning og belysning af bygningerne. Ofte kan denne energimængde ikke adskilles fra den energimængde, der er brugt under produktionen af byggematerialerne. Energiforbruget til fremstilling af produktionsapparatet er ikke medtaget, da overslagsberegninger viser, at det udgør en meget lille del af nettoenergiforbruget.

En opgørelse af miljøbelastninger fra byggematerialer må medtage alle energiforbrug og tab af energi, der er sket fra udvinding af råstoffer til det færdige byggemateriale. Systemgrænsen er derfor ved beregning af bruttoenergiforbruget lagt som vist på figur 3. Bruttoenergiforbruget medtager altså også de energiforbrug og tab, der er knyttet til processer til udvinding, forarbejdning og transport af energiråstoffer samt tab ved fremstilling og distribution af elektricitet, se figur 5.



Figur 5. Oversigt over energiforbrug og tab ved udvinding, forarbejdning og transport af energiråstoffer samt tab af energi ved produktion og distribution af elektricitet.

### Datatype og datakilder

Ved miljøvurdering af en bygning er der behov for generelle data under programmering og projektering og data, der er specifikke for de anvendte produkter, ved dokumentation af den færdige bygnings miljøbelastning.

Der findes ingen tidssvarende oversigter over generelle data for byggematerialer. Der er her valgt at indsamle produktspecifikke data. Senere vil disse data sammen med data fra litteraturen blive anvendt til at fremskaffe generelle data for en række udvalgte byggematerialer.

Specifikke data kan indsamles ved interview af producenter, som måske i forvejen har en del data på grund af:

- krav fra miljømyndighederne
- miljøteknisk revision af enkelte processer eller hele produktionen
- interne miljøundersøgelser
- andre undersøgelser eller opgørelser.

Data for energiforbrug og emissioner ved produktion af elektricitet, og ved transport samt data for brændværdier og emissioner for brændsler kan findes i:

- andre miljørapporter og rapporter om renere teknologi (10, 11)
- handlingsplaner (12)
- andre opgørelser (13, 14)
- konferencebidrag (15)
- opslagsværker (16, 17).

### Indsamlingsmetoder

Generelle data kan indsamles ved at benytte statistisk materiale, medens specifikke data indsamles ved interview af udvalgte producenter.

Det er principielt muligt at beregne energiforbruget til fremstilling af byggematerialer ud fra input-output tabeller for materiale- og energistrømme fra Danmarks Statistik (18). Disse tabeller giver oplysninger om energiforbrug, produktionsmængder samt forbrug af varer og tjenester fordelt på de enkelte brancher. For nogle få byggematerialer er det også muligt at beregne energiforbruget ud fra disse oplysninger. Men for de fleste byggematerialer vil det kræve mange supplerende oplysninger fra producenterne. Input-output tabeller giver altså i øjeblikket for uspecifikke oplysninger til, at denne metode er brugbar (19).

Det er her valgt at interviewe producenter, der har en stor andel af markedet eller er typiske for branchen. Brancheforeningen for teglværker har således udpeget et teglværk, der er typisk for et tidsvarende teglværk.

Til hjælp ved interviewene blev der udarbejdet et spørgeskema, som blev brugt som checkliste. Denne checkliste blev revideret flere gange ud fra erfaringer fra de første interview. Producenterne har givet data for:

- forbrug af råstoffer og råmaterialer
- energiforbrug til udvinding og forarbejdning af råstoffer, hvis producenten selv forestod denne
- energiforbrug til fremstilling af råmaterialer, hvis producenten havde oplysninger herom
- transportafstande og -middel for råstoffer og råmaterialer

- produktionsmængde og spild under produktionen
- forbrug af brændsler og elektricitet
- målinger af emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>
- markedsandel.

Endelig er der spurgt, om der i de næste par år sker ændringer i produktionsprocessen, der vil påvirke energiforbruget og størrelsen af emissionerne.

### Beregninger

Ud fra de indsamlede data er netto- og bruttoenergiforbruget til fremstilling af én ton byggemateriale beregnet.

Nettoenergiforbruget kan bruges til at sammenligne resultaterne med tilsvarende data fra litteraturen, hvor fx konverteringstab ved fremstilling af elektricitet kan være et andet.

Bruttoenergiforbruget medtager alle energiforbrug og tab ved fremstilling af én ton byggemateriale. Bruttoenergiforbruget er omregnet til et forbrug af brændsler, fx kul, fuelolie, Pet-coke og naturgas. Pet-coke er et restprodukt fra olieindustrien. Det har ikke været muligt inden for dette projekts tidsramme at indhente detaljerede oplysninger, der gør det muligt at omregne "precombustion energy" til et forbrug af brændsler. For nogle af råmaterialerne har der ikke i datakilden været oplysninger, der gør det muligt at omregne energiforbruget til et forbrug af brændsler. Men for disse råmaterialer er energiforbruget så lavt, at det ikke har nogen væsentlig betydning.

Alle kulmængder er omregnet til en ækvivalent mængde af kul med en brændværdi på 25,1 GJ/t. Alle olieprodukter er omregnet til en ækvivalent mængde af fuelolie med brændværdi på 40,4 GJ/t. Fuelolien er valgt som målestok, da det er det olieprodukt, der bruges mest.

### Principper for allokering

I produktioner, hvor der fremkommer flere produkter, eller hvor der benyttes genanvendte produkter, skal der tages stilling til, hvorledes energiforbrug samt emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> skal fordeles eller allokeres til de enkelte produkter. Ved samtidig fremstilling af flere produkter kan allokeringen ske fx efter massen af produkterne, ud fra en vurdering af den økonomiske værdi af produkterne, eller ud fra en nøjere analyse af de enkelte processer (20).

Erfaringer fra praksis har vist, at det er svært at opstille generelle regler, der kan anvendes umiddelbart. I hvert enkelt tilfælde må det diskuteres, hvorledes allokeringen skal foregå, herunder hvilket mål man ønsker fremmet ved den pågældende allokering. Her tænkes på samfundets interesse i at forbedre udnyttelsen af ressourcer og i at reducere miljøbelastningerne ved fx at øge anvendelsen af biprodukter og restprodukter samt at øge genanvendelsen af materialer.

I dette projekt defineres et produkt ved, at det enten har en markedsværdi eller en anden selvstændig værdi. Ved samtidig produktion af flere produkter kan et af produkterne ofte betragtes som hovedprodukt, medens de øvrige kan betragtes som biprodukter. Produkter, der fremkommer under en produktion, og som ikke umiddelbar har nogen værdi, vil ofte opfattes som affald. Udnyttes dette affald som råmateriale i en anden produktion, benævnes det restprodukt.

#### Allokering ved produktion af el på kraftvarmeværker

I Danmark produceres elektricitet både på kraft- og kraftvarmeværker. Ved produktion af elektriciteten på kraftvarmeværker udnyttes en del af energien til fjernvarme.

Det er her valgt at betragte elektriciteten som hovedprodukt og varme som biprodukt. Der regnes med samme forbrug af brændsler og samme emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> pr. MJ el, uanset om elektriciteten er fremstillet på et kraftværk eller et kraftvarmeværk (14). Denne allokeringstype er valgt, fordi elektriciteten betragtes som en højværdig energikilde og varmen som en mindre højværdig energikilde. I et appendiks er der givet detaljerede oplysninger om forbrug af brændsler og emissioner ved produktion af henholdsvis elektricitet og varme.

Tabel 4. Forbrug af fossile brændsler og emissioner pr. leveret energimængde fra kraft- og kraftvarmeværker i 1993.

|                   |                     | El+varme | El      | Varme    |
|-------------------|---------------------|----------|---------|----------|
| <b>Brændsler</b>  |                     |          |         |          |
| - kul             | kg/MJ               | 0,0722   | 0,101   | 0,0206   |
| - olie            | kg/MJ               | 0,00144  | 0,00195 | 0,000512 |
| - naturgas        | Nm <sup>3</sup> /MJ | 0,00179  | 0,00104 | 0,00316  |
| <b>Emissioner</b> |                     |          |         |          |
| - CO <sub>2</sub> | g/MJ                | 182      | 245     | 67,6     |
| - SO <sub>2</sub> | g/MJ                | 0,649    | 0,876   | 0,241    |

#### Allokering ved produktion af fjernvarme

Ved produktion af byggematerialer kan der forekomme et salg af fjernvarme, fx ved produktion af cement og stål. Produktion af denne fjernvarme har ikke bevirket en forøgelse af nettoenergiforbruget. Der er derfor ikke her allokeret brændselsforbrug og emissioner til produktion af denne fjernvarme. Set fra samfundets side er der dog tale om en reduktion af miljøbelastningen, da den erstatter en tilsvarende mængde fjernvarme produceret på anden måde. Det er der ikke her taget hensyn til.

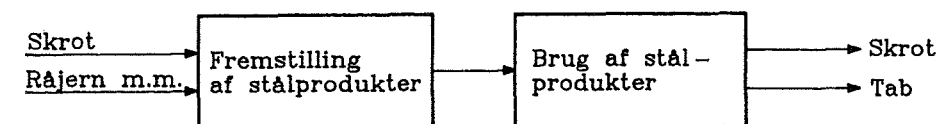
#### Allokering ved produktion af restprodukter

Ved produktion af elektricitet fremkommer der på grund af røggasrensningen restprodukter som flyveaske og industrigips. Flyveaske bruges i cement og beton. Industrigips er et væsentligt råmateriale ved fremstilling af gipsplader. Mikrosilica fremkommer som et restprodukt ved fremstilling af ferrosilicium og bruges i beton. Kisaske fremkommer ved fremstilling af svovlsyre og bruges som råmateriale ved fremstilling af cement. Her er der valgt ikke at allokere energiforbrug til restprodukter, da det ud fra en samfundsmæssig synsvinkel er ønskeligt at udnytte disse, da de ellers kan give en belastning af miljøet ved deponering.

#### Allokering ved stålfremstillingen

Skrot benyttes som råmateriale ved fremstilling af stål. Skrottet fremkommer ved produktion af stål og stålprodukter og efter brug af produkterne. Skrot eller spild, der opstår under selve stålproduktionen ligger inden for systemgrænsen og er derfor ikke input til produk-

tionsstedet, medens de øvrige typer skrot er input til produktionsstedet, se figur 6.



Figur 6. Kredsløb for stål.

Der kan argumenteres for, at skrot er et forarbejdet materiale og derfor skal tildeles et energiforbrug og emissioner. Men det er ønskeligt, at skrot anvendes, da det bevirker et lavere energiforbrug til fremstilling af stålprodukter og bevirker en mindre affaldsmængde, der skal deponeres. Der er her valgt at betragte skrot som et restprodukt, dvs. kun at tildele skrot det energiforbrug, der bruges i forbindelse med cirkulation til stålværket. Der er dog ikke indhentet oplysninger om dette energiforbrug. Energiforbruget for skrot er derfor sat til nul.

## 4.2 Data for brændsler og transport

I forbindelse med beregninger af data for byggematerialerne er der anvendt data for brændsler og for transport. Disse data er hentet fra litteraturen.

#### Data for brændsler

I det følgende er givet data for "precombustion energy", brændværdier og emissioner for brændsler.

#### "Precombustion energy"

Der forekommer energiforbrug og tab ved udvinding, forarbejdning og transport af kul, olie og naturgas, "precombustion energy". På baggrund af litteraturstudier vurderes det, at disse energiforbrug og tab samlet udgør ca. 10% for kul og olieprodukter samt ca. 5% for naturgas. "Precombustion energy" bevirker således, at der må adderes 10% til de udregnede kul- og oliemængder og 5% til de udregnede naturgasmængder.

#### Brændværdier

Ved fremstilling af de undersøgte byggematerialer bruges følgende brændsler:

- kul
- fuelolie
- pet-coke (ved cementfremstilling)
- destillatolie (fyringsgasolie og dieselolie)
- naturgas
- spildgas fra et raffinaderi (ved fremstilling af gipsplader).

I tabel 5 er de anvendte brændværdier for de forskellige brændsler angivet. Desuden er variationsområdet angivet. Brændværdien af kul varierer en del, fordi kvaliteten af kul varierer. Kvaliteten afhænger af, hvor kullene kommer fra. Der er her brugt den nedre brændværdi, da den angiver den energimængde, der kan udnyttes i traditionelle fyringsanlæg. Nedre brændværdi angiver den energimængde, der fås ved forbrænding af brændslet i den foreliggende tilstand, når vandet fra selve brændslet og vandet dannet under forbrænding er på dampform. Ofte benyttes der i livscyklusvurderinger øvre brændværdi, som er den maksimale energimængde, der fås ved forbrænding af tørt brændsel, når vanddampen er kondenseret. Den øvre brændværdi er ca. 9% højere end den nedre brændværdi.

Tabel 5. Nedre brændværdier for fossile brændsler.

| Brændsler     | Nedre brændværdi<br>GJ/t | Variationsområde<br>GJ/t |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| Kul           | 25,1                     | 19,5 - 30,6              |
| Fuelolie      | 40,4                     | 40 - 41                  |
| Pet-coke      | 31,8                     |                          |
| Destillatolie | 42,7                     | 42 - 43                  |
| Naturgas      | 39,6 <sup>1)</sup>       | 39,4 - 39,6              |
| Spildgas      | 58,2 <sup>1)</sup>       |                          |

<sup>1)</sup> GJ/1000 Nm<sup>3</sup>.

#### Emissionsfaktorer

Emissionsfaktorer beregnes ud fra den kemiske sammensætning af brændslet. Da den kemiske sammensætning af brændslerne varierer, vil emissionsfaktorer i litteraturen også variere. De her anvendte emissionsfaktorer er vist i tabel 6.

Tabel 6. Emissionsfaktorer for CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for fossile brændsler.

| Brændsler     | Emissioner            |                        |
|---------------|-----------------------|------------------------|
|               | t CO <sub>2</sub> /TJ | kg SO <sub>2</sub> /TJ |
| Kul           | 95                    | 584 <sup>1)</sup>      |
| Fuelolie      | 74                    | 495                    |
| Pet-coke      | 100                   | 3080                   |
| Destillatolie | 74                    | 94                     |
| Dieselolie    | 74                    | 94                     |
| Naturgas      | 57                    | 0                      |

<sup>1)</sup> ca. 15% af svovlet bindes i slaggen.

#### Data for transport

I tabel 7 er vist energiforbruget ved transport med forskellige transportmidler (12). For tankskibe er der benyttet nordiske data (10).

Tabel 7. Energiforbrug og emissioner for transport.

| Transportmiddel                   | Emissioner               |                          |                         |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                   | Energiforbrug<br>MJ/t km | kg CO <sub>2</sub> /t km | g SO <sub>2</sub> /t km |
| Lastbil <sup>1)</sup>             | 1,44                     | 0,11                     | 0,13                    |
| Godstog <sup>1)</sup><br>- diesel | 1,15                     | 0,07                     | 0,07                    |
| Skib<br>- tanker <sup>2)</sup>    | 0,11                     | 0,008                    | 0,14                    |

<sup>1)</sup> Fra (12).

<sup>2)</sup> Fra (10).

## 5 Data for byggematerialer

### 5.1 Præsentation af de indsamlede data

For hvert af de udvalgte byggematerialer gives der først en kort beskrivelse af fremstillingsprocessen og de indsamlede data. Beskrivelsen omfatter de punkter, der er gennemgået herunder. Derefter præsenteres de indsamlede data.

#### Processer

Der gives en kort beskrivelse af de vigtigste energiforbrugende processer, bl.a. nævnes temperaturniveauet for brændingsprocesserne. Der nævnes, hvilke råstoffer og råmaterialer der anvendes, og om producenten selv foretager udvinding og forarbejdning af råstofferne. Der gives data for transport af råstoffer og råmaterialer til produktionsstedet. Transport fra produktionssted til byggeplads er ikke inkluderet.

#### Energiforbrug

Det beskrives, hvordan nettoenergiforbruget og bruttoenergiforbruget er beregnet. Nettoenergiforbruget omfatter alene det energiforbrug, der er medgået til udvinding af råstoffer, fremstilling af råmaterialer samt transport af råstoffer og råmaterialer. Nettoenergiforbruget er udregnet på grundlag af producentens oplysninger om forbrug af råstoffer og råmaterialer samt forbrug af brændsler og elektricitet. Foretager producenten ikke selv udvinding af råstofferne, er der anvendt data fra litteraturen. For råmaterialer er der, bortset fra cement og formalet, brændt kalk, ligeledes anvendt data fra litteraturen.

Bruttoenergiforbruget omfatter ud over nettoenergiforbruget tillige energiforbrug og tab ved udvinding, forarbejdning og transport af energiråstoffer, "precombustion energy", samt tab ved fremstilling og distribution af elektricitet. Der regnes med, at "precombustion energy" udgør 10% for kul og olie samt 5% for naturgas. Der regnes med en virkningsgrad på 0,37 for fremstilling og distribution af elektricitet.

#### Brændsler

Det angives, hvilke brændsler der anvendes, og om der anvendes restprodukter som brændsel. Det beregnede brændselsforbrug omfatter også brændselsforbrug til fremstilling af elektricitet. Derimod har det ikke været muligt at indhente oplysninger, der gør det muligt at beregne det brændselsforbrug, der er brugt til udvinding, forarbejdning og transport af energiråstofferne.

#### Emissioner

Det anføres, om emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> er målt eller beregnet. For de fleste processer er emissionen målt. Emission af CO<sub>2</sub>, der stammer fra produktion af elektricitet, er beregnet, medens den tilsvarende emission af SO<sub>2</sub> er målt. Inden for dette projekt har det ikke været muligt at indhente detaljerede oplysninger, der gør det muligt af udregne emissioner knyttet til "precombustion energy".

#### Andre bemærkninger

Under dette afsnit nævnes de faktorer, der især influerer på bruttoenergiforbruget. Der anføres en usikkerhed beregnet ud fra usikkerheden på produktionsmængde og energiforbrug. Usikkerheden skønnes at være 4% på mængden af elektricitet, 3% på mængden af naturgas og 1% på mængden af olie. Disse usikkerheder er skønnet ud fra oplysninger om usikkerheden på målere for henholdsvis elektricitet og gas samt usikkerheden på pejlinger i olietanke.

Endvidere omtales konkrete produktionsforhold, som på kort sigt kan formindske bruttoenergiforbruget og dermed emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>.

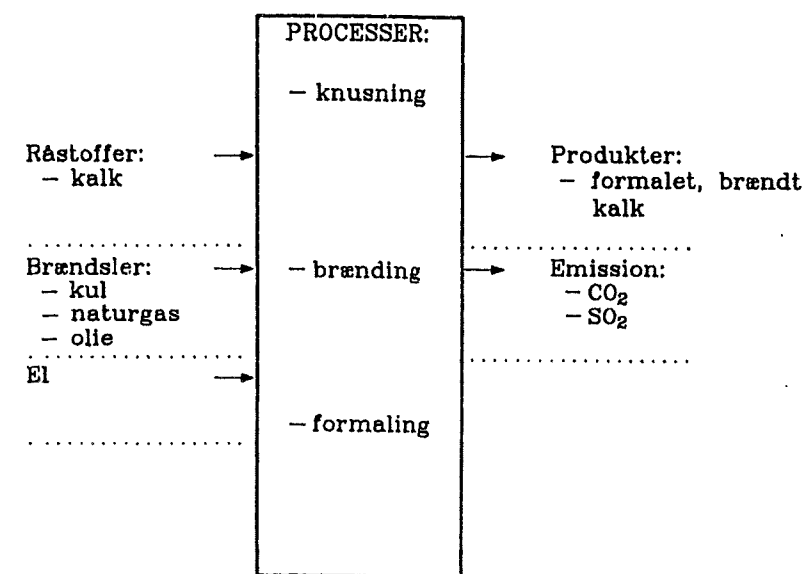
### 5.2 Formalet, brændt kalk

Faxe Kalk er interviewet i 1993. Faxe Kalk fremstiller formalet, brændt kalk og leverer den største del af forbruget af brændt kalk i Danmark.

Formalet, brændt kalk bruges som råmateriale ved fremstilling af porebeton. Brændt kalk bruges ved fremstilling af stål.

#### Processer

Råstoffet kalk udvindes og transporteres til produktionsstedet, hvor det knuses og brændes i to ovne ved en temperatur på 1000 °C, hvorved calciumcarbonat omdannes til calciumoxid (brændt kalk) og kuldioxid. Den brændte kalk formales.



Figur 7. Input og output for formalet, brændt kalk.



### Energiforbrug

Der er givet data for udvinding og transport af kalk samt forbrug af kul, olie og elektricitet. Tabel 8 angiver nettoenergiforbruget og tabel 9 angiver bruttoenergiforbruget.

### Brændsler

Der benyttes overvejende kul som brændsel.

### Emissioner

Emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> er målt i røggassen fra de to ovne. Der er målt 3 gange i røggassen fra hver ovn, og der er en stor variation på målingerne fra den ene ovn. Emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> fra fremstilling af elektricitet er beregnet. Halvdelen af den totale CO<sub>2</sub>-emission stammer fra spaltning af calciumcarbonat. Emissionen af SO<sub>2</sub> er reduceret, da der sker en væsentlig afsøvling af røggassen ved brænding af kalk.

### Andre bemærkninger

Der bruges især energi til brænding og formaling, ca. 99% af nettoenergiforbruget. Usikkerheden er beregnet til 7% ud fra usikkerheden på produktionsmængde og kulmængde. De to ovne har et meget forskelligt energiforbrug, men den ene ovn ombygges nu. Der kan derfor forventes en reduktion i bruttoenergiforbruget for formalet, brændt kalk.

Tabel 8. Nettoenergiforbrug til fremstilling af formalet, brændt kalk. Elforbrug i parentes.

| Formalet, brændt kalk |      |            |
|-----------------------|------|------------|
| Råmaterialer          | MJ/t | 112        |
| Transport             | MJ/t | 18         |
| Proces                | MJ/t | 8210 (225) |
| I alt                 |      | 8340       |

Tabel 9. Bruttoenergiforbrug samt forbrug af fossile brændsler og emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for formalet, brændt kalk. "Precombustion energy" i parentes.

| Formalet, brændt kalk |                    |            |
|-----------------------|--------------------|------------|
| Bruttoenergiforbrug   | MJ/t               | 9590 (866) |
| Forbrug af brændsler  |                    |            |
| - kul                 | kg/t               | 283        |
| - olie                | kg/t               | 37         |
| - naturgas            | Nm <sup>3</sup> /t | 2,0        |
| Emissioner            |                    |            |
| - CO <sub>2</sub>     | t/t                | 1,6        |
| - SO <sub>2</sub>     | kg/t               | 1,0        |

### 5.3 Cement

Aalborg Portland er interviewet i 1990, 1992 og 1993. Aalborg Portland fremstiller fire cementkvaliteter: Rapid cement, Standard cement, Hvid Portland cement og Lavalkali Sulfatbestandig cement. Aalborg Portland har en markedsandel på 80%.

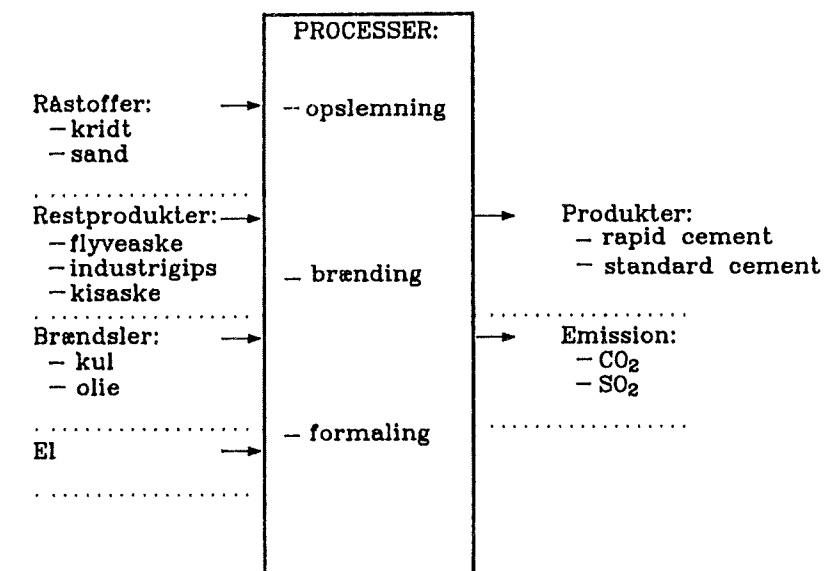
Cement bruges som råmateriale ved produktion af beton, herunder fabriksbeton og porebeton.

### Processer

Rapid cement og Standard cement fremstilles ud fra råstofferne kridt og sand samt ud fra restprodukterne kisaske og flyveaske. Materialerne blandes og brændes ved 1500 °C. Processen er en semitør proces.

Udgangsmaterialet fra ovnen, klinkerne, formales med flyveaske og gips. Rapid cement indeholder op til 5% flyveaske og Standard cement op til 25% flyveaske.

Hvid Portland cement fremstilles ud fra råstofferne kridt, sand og kaolin, og Lavalkali Sulfatbestandig cement ud fra råstofferne kridt, sand samt restproduktet kisaske. Materialerne blandes og brændes ved en højere temperatur end ved fremstilling af Rapid og Standard cement. Processen er en våd proces. Klinkerne til Hvid Portland cement formales med gips, og klinkerne til Lavalkali Sulfatbestandig cement (LAS) formales med gips og flyveaske. I øjeblikket bruges en blanding af naturgips (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), anhydrit (CaSO<sub>4</sub>) og industrigips. Industrigips er et restprodukt fra afsøvling af røggas. I beregningerne er der regnet med, at al gipsen er industrigips.



Figur 8. Input og output for fremstilling af Rapid og Standard cement.

### Energiforbrug

Der er ved interview oplyst data for råstofforbrug, transport af flyveaske samt forbrug af energi. Der er endvidere oplyst, hvilke brændsler der er anvendt.

I tabel 10 er nettoenergiforbruget vist. Der er ikke regnet med et energiforbrug til udvinding og transport af kaolin, da det er forsvindende i forhold til energiforbruget til brændeprocessen. Aalborg

Portland foretager selv udvindingen af kridt og sand. Dette energiforbrug er indeholdt i procesenergiforbruget. Nettoenergiforbruget for restprodukterne flyveaske, kisaske og industrigips er sat til nul. Ved produktion af Hvid Portland cement fås en produktion af fjernvarme på 2510 MJ/t. Bruttoenergiforbruget er vist i tabel 11.

#### Brændsler

Der bruges overvejende kul ved fremstilling af Rapid cement, Standard cement og Lavalkali Sulfatbestandig cement. Ved fremstilling af Hvid Portland cement bruges overvejende Pet-coke, et restprodukt fra olieindustrien.

#### Emissioner

Under brænding fraspalter calciumcarbonat kuldioxid. Mængden af denne kuldioxid er beregnet. Emission af CO<sub>2</sub> fra forbrug af brændsler og elektricitet er ligeledes beregnet. Emission af SO<sub>2</sub> ved fremstilling af klinker til Rapid cement, Standard cement, Hvid Portland cement og Lavalkali Sulfatbestandig cement er målt i røggassen for de pågældende ovne. I den semitørre proces sker der en afsvovling af røggassen. For den ovn, som anvendes til fremstilling af Hvid Portland cement, er der etableret et afsvovlingsanlæg for røggas, dette bevirker en væsentlig lavere SO<sub>2</sub>-emission. Emission af SO<sub>2</sub> fra transport og fra forbrug af elektricitet er beregnet.

#### Andre bemærkninger

Der bruges især energi til brænding af materialerne. Usikkerheden på bruttoenergiforbruget er beregnet til 2% ud fra oplysninger om produktionsmængde og forbrug af kul. Der fremstilles nu en ny cement, Basis cement, med samme egenskaber som Rapid cement, men med et lidt lavere nettoenergiforbrug.

Tabel 10. Nettoenergiforbruget for de fire cementtyper. Elforbrug i parentes.

| Cementtyper  | Rapid      | Standard   | Hvid       | LAS        |
|--------------|------------|------------|------------|------------|
| Råmat. MJ/t  | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Transp. MJ/t | 20         | 47         | 0          | 6          |
| Proces MJ/t  | 4730 (490) | 3680 (430) | 8300 (440) | 7020 (380) |
| I alt MJ/t   | 4750       | 3730       | 8300       | 7020       |

Tabel 11. Bruttoenergiforbrug, forbrug af fossile brændsler samt emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. "Precombustion energy" i parentes.

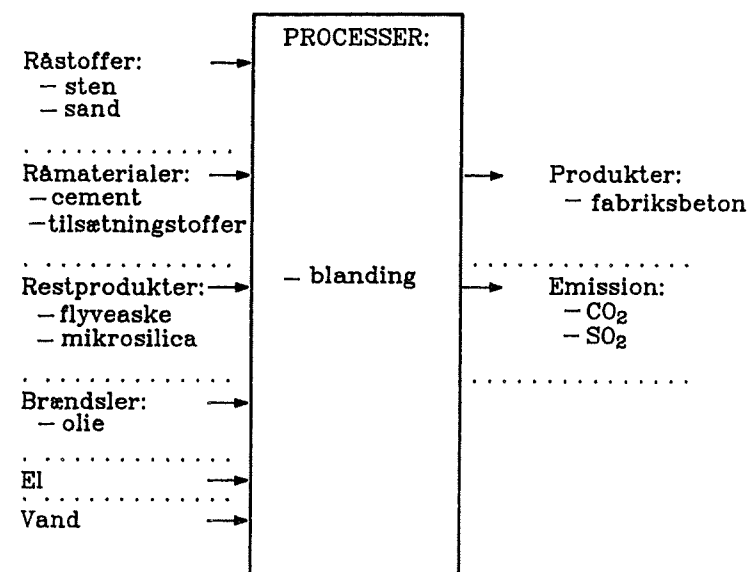
| Cementtyper                   | Rapid      | Standard   | Hvid       | LAS        |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Bruttoenergiforbrug MJ/t      | 6140 (553) | 4900 (442) | 9950 (900) | 8440 (764) |
| Forbrug af brænd.             |            |            |            |            |
| - kul kg/t                    | 206        | 164        | 44         | 223        |
| - fuelolie kg/t               | 8,8        | 7,6        | 48         | 9,1        |
| - Pet-coke kg/t               |            |            | 188        | 52         |
| - naturgas Nm <sup>3</sup> /t | 0,51       | 0,45       | 0,46       | 0,40       |
| Emissioner                    |            |            |            |            |
| - CO <sub>2</sub> t/t         | 1,0        | 0,83       | 1,5        | 1,3        |
| - SO <sub>2</sub> kg/t        | 0,43       | 0,39       | 2,9        | 1,0        |

#### 5.4 Beton

4 K-Beton A/S er interviewet i 1993. 4 K-Beton fremstiller fabriksbeton i passiv, moderat og aggressiv miljøklasse. Der bruges fortrinsvis beton i passiv miljøklasse.

#### Processer

Der anvendes råstofferne sten og sand, råmaterialerne cement og tilsætningsstoffer samt restprodukterne flyveaske og mikrosilica. Materialerne blandes med vand i eldrevne blandemaskiner. Betonen opvarmes lidt i vintermånederne.



Figur 9. Input og output for fremstilling af beton.

#### Energiforbrug

Der er oplyst data for materialemængder, betonsammensætning (se tabel 12), energiforbrug samt transport af sten, sand, cement og flyveaske. Den oplyste oliemængde går både til opvarmning af bygninger og til opvarmning af betonen i vintermånederne.

Nettoenergiforbruget er vist i tabel 13. For cement er der anvendt data fra Aalborg Portland, se afsnittet om cement. Der er ikke her regnet med et energiforbrug til udvinding af sten og sand. Der er ikke regnet med et nettoenergiforbrug for restprodukter, flyveaske og mikrosilica. Der er ikke regnet med energi til fremstilling af tilsætningsstoffer og til transport af mikrosilica, da disse bidrag vurderes at være uvæsentlige. Energiforbruget til fremstilling af råmaterialet cement udgør under disse forudsætninger ca. 90% af nettoenergiforbruget. Bruttoenergiforbruget er givet i tabel 14.

Tabel 12. Betonkvaliteten af de tre typer af fabriksbeton.

| Betonkvalitet                   | Passiv | Moderat | Aggressiv |
|---------------------------------|--------|---------|-----------|
| Cementtype                      | Rapid  | Rapid   | LAS       |
| Cementindhold kg/m <sup>3</sup> | 150    | 200     | 275       |
| v/c-forhold                     | 0,95   | 0,62    | 0,49      |
| Rumvægt kg/m <sup>3</sup>       | 2,29   | 2,29    | 2,35      |

#### Andre bemærkninger

Energiforbruget skyldes især fremstilling af cement. Usikkerheden på energiforbruget beregnes til 3% ud fra oplysninger på usikkerheden på mængden af cement og på bruttoenergiforbruget til fremstilling af cementen.

Tabel 13. Nettoenergiforbrug for fabriksbeton. Elforbrug i parentes.

| Fabriksbeton |      | Passiv   | Moderat  | Aggressiv |
|--------------|------|----------|----------|-----------|
| Råmaterialer | MJ/t | 310 (32) | 422 (44) | 822 (45)  |
| Transport    | MJ/t | 46       | 48       | 74        |
| Proces       | MJ/t | 20 (7)   | 20 (7)   | 19 (7)    |
| I alt        |      | 375      | 490      | 915       |

Tabel 14. Bruttoenergiforbrug, forbrug af brændsler samt emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for fabriksbeton. "Precombustion energy" i parentes.

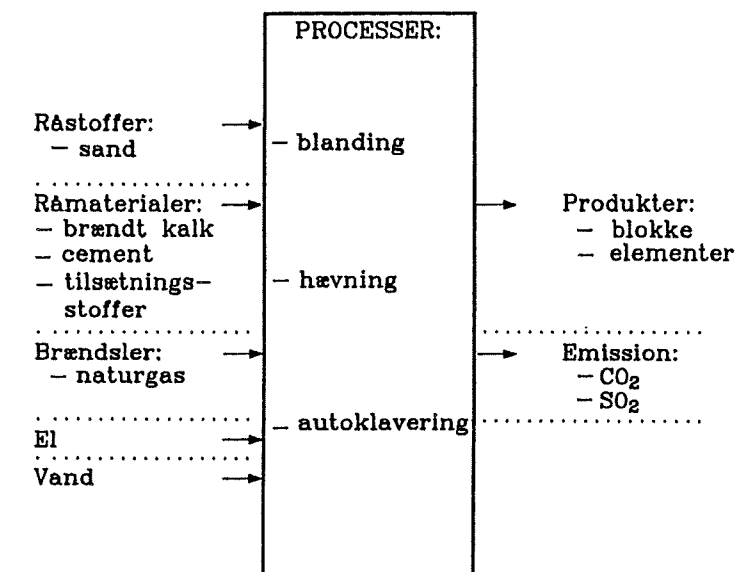
| Fabriksbeton        |                    | Passiv   | Moderat  | Aggressiv  |
|---------------------|--------------------|----------|----------|------------|
| Bruttoenergiforbrug | MJ/t               | 485 (44) | 633 (57) | 1100 (100) |
| Forbrug brændsler   |                    |          |          |            |
| - kul               | kg/t               | 14       | 19       | 27         |
| - fuelolie          | kg/t               | 2,0      | 2,3      | 3,2        |
| - Pet-coke          | kg/t               |          |          | 6,1        |
| - naturgas          | Nm <sup>3</sup> /t | 0,040    | 0,052    | 0,054      |
| Emissioner          |                    |          |          |            |
| - CO <sub>2</sub>   | t/t                | 0,071    | 0,095    | 0,16       |
| - SO <sub>2</sub>   | kg/t               | 0,040    | 0,050    | 0,15       |

## 5.5 Porebeton

H+H-Industri A/S er interviewet i 1992. H+H-Industri fremstiller blokke og elementer af porebeton. H+H-Industri har en markedsandel på 95%.

#### Processer

Der bruges råstoffet sand og råmaterialerne formalet, brændt kalk, Rapid cement, aluminiumspulver og små mængder af tilsætningsstoffer samt restproduktet flyveaske. Materialerne blandes. Aluminium reagerer i det stærkt basiske miljø, hvorved der udvikles brint. På grund af massens konsistens når den udviklede brint at danne lukkede blærer, inden den diffunderer ud. Efter hævnningen udskæres massen i blokke og elementer, der autoklaveres med damp (11 atm ved 180 °C). Elementerne er armeret med ca. 0,007 t stål pr. t porebeton.



Figur 10. Input og output for porebeton.

#### Energiforbrug

Der er oplyst mængden af råstoffer, råmaterialer og restprodukter samt forbrug af energi. Der er givet oplysninger om transport af materialer. I tabel 15 er nettoenergiforbruget vist. Der er anvendt data for formalet, brændt kalk og cement se afsnit om formalet, brændt kalk og om cement. Nettoenergiforbruget for flyveaske er nul, da det er et restprodukt. Nettoenergiforbruget for aluminiumspulveret er 2 GJ/t (21). Der benyttes især energi til autoklaving, ca. 54% af nettoenergiforbruget. Bruttoenergiforbruget er vist i tabel 16. Energiforbruget til fremstilling af stål er ikke inkluderet i tallene i tabel 15 og 16.

#### Brændsler

Der benyttes overvejende naturgas. Naturgassen bruges til fremstilling af damp.

### Emissioner

Emissionerne er beregnet ud fra emissionsfaktorer for brændslerne.

### Andre bemærkninger

Der bruges en stor del af energien til autoklaving af produkterne. En større produktion vil medføre, at dampen kan udnyttes bedre ved autoklaveringsprocessen og derfor bevirke et lavere energiforbrug pr. t produceret mængde. I 1988 var produktionsmængden ca. dobbelt så stor som i 1992, dette medførte et bruttoenergiforbrug, der var ca. 16% lavere end i 1992. Der er ikke oplyst usikkerhed på produktionsmængde.

Tabel 15. Nettoenergiforbrug for porebeton. Elforbrug i parentes.

| Porebeton    |      | Blokke     | Elementer  |
|--------------|------|------------|------------|
| Råmaterialer | MJ/t | 1720 (85)  | 2000 (95)  |
| Transport    | MJ/t | 93         | 85         |
| Proces       | MJ/t | 2080 (290) | 2460 (340) |
| I alt        |      | 3900       | 4540       |

Tabel 16. Bruttoenergiforbrug, forbrug af fossile brændsler samt emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for blokke og elementer af porebeton. "Precombustion energy" i parentes.

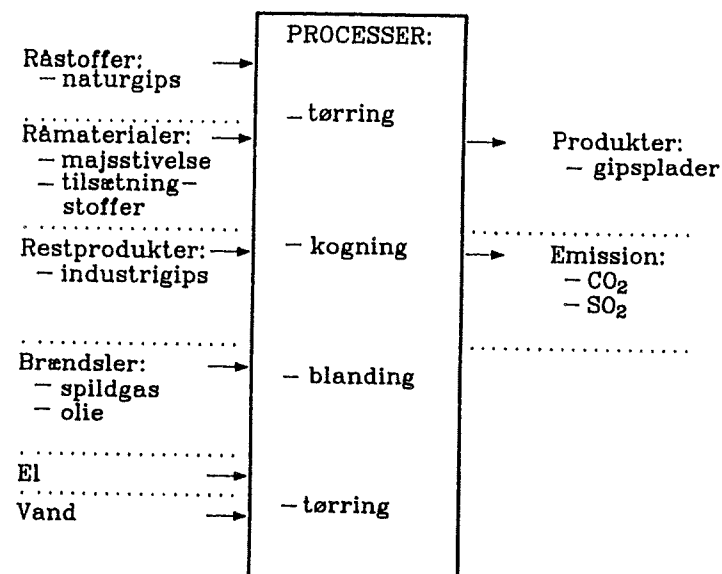
| Porebeton            |                    | Blokke     | Elementer  |
|----------------------|--------------------|------------|------------|
| Bruttoenergiforbrug  | MJ/t               | 4900 (364) | 5720 (422) |
| Forbrug af brændsler |                    |            |            |
| - kul                | kg/t               | 91         | 107        |
| - fuelolie           | kg/t               | 12         | 13         |
| - naturgas           | Nm <sup>3</sup> /t | 44         | 52         |
| Emissioner           |                    |            |            |
| CO <sub>2</sub>      | t/t                | 0,52       | 0,61       |
| SO <sub>2</sub>      | kg/t               | 0,48       | 0,56       |

## 5.6 Gipsplader

Gyproc A/S er interviewet i 1993. Gyproc fremstiller gipsplader og har en markedsandel på 40%.

### Processer

Der benyttes råstoffet naturgips, råmaterialerne majsstivelse og enkelte tilsætningsstoffer samt restproduktet industrigips. Naturgips udvindes i Spanien og transporteres hertil. Blandingen af naturgips og industrigips tørres, koges og tilsættes vand, majsstivelse og tilsætningsstoffer og støbes i en kasse af karton. Pladen hærder og tørres.



Figur 11. Input og output for fremstilling af gipsplade.

### Energiforbrug

Der er givet oplysninger om mængden af råstoffer, råmaterialer og restprodukter, forbrug af brændsler samt transport af materialer.

I tabel 17 er nettoenergiforbruget givet. Nettoenergiforbruget for naturgips er 36 MJ/t og for karton 8900 MJ/t (22). Der er ikke regnet med energi til fremstilling af industrigips, da industrigips er et restprodukt.

Bruttoenergiforbruget er givet i tabel 18. Kartonen er fremstillet i Sverige blandt andet ved brug af elektricitet. Denne elektricitetsmængde (355 MJ) er ikke omregnet til et bruttoenergiforbrug, da Sverige fremstiller elektricitet på en anden måde end i Danmark og derfor har en anden virkningsgrad for fremstilling af elektricitet.

### Brændsler

Der bruges fuelolie til tørring af gipsblandingen, og spildgas fra et raffinaderi til tørring af gipspladen. Spildgassen består fortrinsvis af brint og kulbrinter.

### Emissioner

Emissionerne er beregnet ud fra den kemiske sammensætning af brændslerne.

### Andre bemærkninger

Der er i øjeblikket regnet med, at 35% af gipsen er industrigips, fremover vil der blive anvendt op til 90%. Dette vil bevirke en reduktion af bruttoenergiforbruget på 7%. SO<sub>2</sub>-emissionen reduceres, da ca. 1/3 af den nuværende SO<sub>2</sub>-emission skyldes transport af naturgips. Der er en usikkerhed på produktionsmængden på 2%.

Tabel 17. Nettoenergiforbrug for gipsplader. Elforbrug i parentes.

| Gipsplader   |      |      |       |
|--------------|------|------|-------|
| Råmaterialer | MJ/t | 480  |       |
| Transport    | MJ/t | 315  |       |
| Proces       | MJ/t | 2750 | (303) |
| I alt        |      | 3550 |       |

Tabel 18. Bruttoenergiforbrug, forbrug af fossile brændsler samt emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> til fremstilling af gipsplader. "Precombustion energy" i parentes.

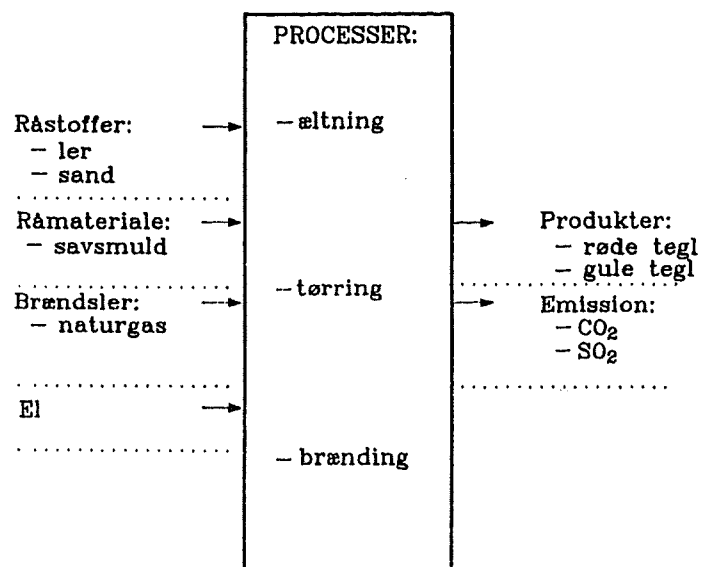
| Gipsplader          |                    |      |       |
|---------------------|--------------------|------|-------|
| Bruttoenergiforbrug | MJ/t               | 4300 | (235) |
| Brændsler           |                    |      |       |
| - kul               | kg/t               | 31   |       |
| - olie              | kg/t               | 39   |       |
| - spildgas          | Nm <sup>3</sup> /t | 23   |       |
| Emissioner          |                    |      |       |
| - CO <sub>2</sub>   | t/t                | 0,22 |       |
| - SO <sub>2</sub>   | kg/t               | 1,2  |       |

## 5.7 Tegl

Petersminde Teglværk A/S er interviewet i 1993. Dette teglværk blev udvalgt af teglværkernes brancheforening som repræsentativt for et tidssvarende teglværk. Petersminde Teglværk har en markedsandel på ca. 5%. Der produceres overvejende røde mursten af tegl. Forholdet er ca. 75/25 for røde/gule mursten.

### Processer

Der benyttes ler, små mængder sand og savsmuld. Ler graves op og transporteres til teglværket, hvor det æltes og formgives under til-sætning af sand og savsmuld. Stenene tørres og brændes ved ca. 1050 °C.



Figur 12. Input og output ved fremstilling af tegl.

### Energiforbrug

Der er oplyst mængde af råstoffer, forbrug af brændsler samt transport af ler til produktionssted. I tabel 19 er nettoenergiforbruget vist. Der er ikke regnet med et nettoenergiforbrug til udvinding af sand og fremstilling af savsmuld. Energien bruges til brænding og tørring af stenene. Energiforbrug til brænding af gule mursten er højere end til røde mursten på grund af et større kalkindhold i ler til gule mursten.

Bruttoenergiforbruget er givet i tabel 20.

### Brændsler

Der benyttes naturgas i ovnen.

### Emissioner

Emission af CO<sub>2</sub> er beregnet. Ved brænding af gule mursten sker der yderligere en emission af CO<sub>2</sub> på 0,086 t CO<sub>2</sub>/t på grund af dekomponering af kalk i ler til gule mursten. Der sker en emission af SO<sub>2</sub> på 0,2 kg SO<sub>2</sub>/t på grund af dekomponering af sulfater i ler til gule mursten.

### Andre bemærkninger

Der bruges energi til brænding af mursten. Dette energiforbrug varierer fra teglværk til teglværk, 2360-3850 MJ/t og med et enkelt teglværk på 5200 MJ/t (23). Usikkerheden på energiforbruget beregnes til 6% ud fra oplysninger om usikkerheden på produktionsmængde og på mængden af naturgas.

Tabel 19 Nettoenergiforbrug til fremstilling af gule og røde mursten. Elforbrug i parentes.

| Mursten af tegl |      | Gule       | Røde       |
|-----------------|------|------------|------------|
| Råmaterialer    | MJ/t | 0          | 0          |
| Transport       | MJ/t | 13         | 13         |
| Proces          | MJ/t | 2490 (164) | 2140 (164) |
| I alt           |      | 2500       | 2150       |

Tabel 20. Bruttoenergiforbrug, forbrug af fossile brændsler og emissioner til fremstilling af gule og røde mursten. "Precombustion energy" i parentes.

| Mursten af tegl      |                    | Gule       | Røde       |
|----------------------|--------------------|------------|------------|
| Bruttoenergiforbrug  | MJ/t               | 2940 (160) | 2580 (142) |
| Forbrug af brændsler |                    |            |            |
| - kul                | kg/t               | 17         | 17         |
| - olie               | kg/t               | 0,64       | 0,64       |
| - naturgas           | Nm <sup>3</sup> /t | 59         | 50         |
| Emissioner           |                    |            |            |
| - CO <sub>2</sub>    | t/t                | 0,26       | 0,15       |
| - SO <sub>2</sub>    | kg/t               | 0,34       | 0,14       |



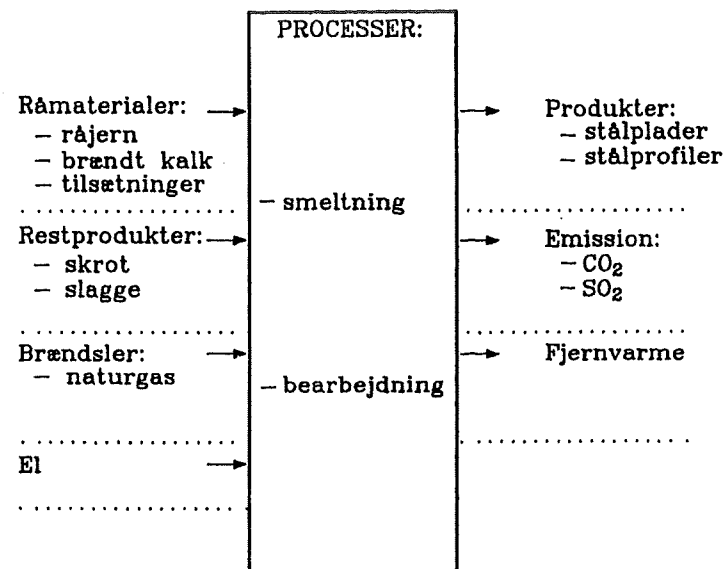
## 5.8 Stålprodukter

Det Danske Stålvalseværk A/S i Frederiksværk er interviewet i 1991 og i 1994. Stålvalseværket fremstiller plader, profiler, fladjern og rundjern. Stålvalseværket har en markedsandel på 40-50% for armeringsjern.

### Processer

Stål fremstilles ud fra råmaterialerne råjern, brændt kalk og ferroforbindelser, restprodukter skrot og slagge. Der bruges ca. 0,9 t skrot pr. t stål, hvoraf ca. 25% er importeret. Skrot indeholder urenheder, fx kobber. Kobber kan forringe stålets egenskaber; det er derfor nødvendigt at tilsætte råjern. For at opnå et bestemt kulstofindhold i det færdige stål, tilsættes der kulstof i form af antracitkul, og der bruges oxygen til at oxidere det overskydende kulstof.

Råmaterialerne smeltes i en elektrisk ovn, hvorefter det udstøbes i blokke, der vales til plader (tykkelse 16 mm), og i strenge, der bearbejdes til profiler, fladjern og rundjern.



Figur 13. Input og output til stålvalseværket.

### Energiforbrug

Ved interview er der oplyst mængde af råmaterialer, transport af råmaterialer samt forbrug af brændsler pr. t færdig produkt.

I tabel 21 er givet nettoenergiforbruget. Der er regnet med et nettoenergiforbrug for råjern på 12.000 MJ/t (24). Nettoenergiforbrug for skrot er sat til nul, se kapitlet om dataindsamling. Energiforbruget til opvarmning af bygningerne er ca. 80 MJ/t og er inkluderet i nettoenergiforbruget. Den overskydende varme fra produktionen af stål sælges som fjernvarme, ca. 400 MJ/t, og udgør derfor en meget lille del af nettoenergiforbruget.

Bruttoenergiforbruget er vist i tabel 22.

### Brændsler

På Stålvalseværket bruges der elektricitet til smeltning af råmaterialerne, naturgas og elektricitet til bearbejdning af stålet. Der er regnet med, at der udelukkende bruges kul ved fremstilling af råjern.

### Emissioner

Emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> er beregnet. En stor del af emissionen skyldes anvendelse af elektricitet. Der er her benyttet emissionsfaktorer for CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. Emissionsfaktorerne angiver den gennemsnitlige emission pr. leveret elektricitetsmængde. Stålvalseværket bruger hovedparten af sit elforbrug i lavlastperioden, hvor de mest tidsvarende elværker er i drift. Der er ikke i øjeblikket data, der angiver emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> i henholdsvis spids-, høj- og lavlastperioden. Ved produktion af råjern er der en emission af CO<sub>2</sub> på 3 t CO<sub>2</sub> pr. t råjern (24). På grund af afbrænding af kulstof i ovnen fra skrot og antracitkul sker der en CO<sub>2</sub> emission på ca. 0,05 t CO<sub>2</sub> pr. t stål.

### Andre bemærkninger

Energien bruges især til smeltning af materialerne og bearbejdning af stålet. Nettoenergiforbruget for råjern stammer fra litteraturen og kan variere. Regnes der med en variation på 50%, fås en variation på 6% af bruttoenergiforbruget. Usikkerheden på bruttoenergiforbruget er beregnet til 3% ud fra usikkerheden på mængden af råmaterialer, elektricitet og naturgas.

Tabel 21. Nettoenergiforbrug for stålprodukter. Elforbrug i parentes.

| Stål         |      | Plader      | Profiler    |
|--------------|------|-------------|-------------|
| Råmaterialer | MJ/t | 3260 (6)    | 2930 (6)    |
| Transport    | MJ/t | 65          | 59          |
| Proces       | MJ/t | 6730 (2970) | 5060 (2720) |
| I alt        |      | 10000       | 8050        |

Tabel 22. Bruttoenergiforbrug, forbrug af fossile brændsler og emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for stålprodukter. "Precombustion energy" i parentes.

| Stål                 |                    | Plader       | Profiler     |
|----------------------|--------------------|--------------|--------------|
| Bruttoenergiforbrug  | MJ/t               | 16330 (1215) | 13700 (1010) |
| Forbrug af brændsler |                    |              |              |
| - kul                | kg/t               | 406          | 353          |
| - olie               | kg/t               | 8,9          | 8,1          |
| - naturgas           | Nm <sup>3</sup> /t | 87           | 52           |
| Emissioner           |                    |              |              |
| - CO <sub>2</sub>    | t/t                | 1,7          | 1,4          |
| - SO <sub>2</sub>    | kg/t               | 4,0          | 3,5          |

## 6 Diskussion

Resultaterne fra en indsamling af miljødata afhænger af de valg, der er foretaget med hensyn til systemgrænser, indsamlingsmetoder og principper for allokering af energi. Betydning heraf vil blive diskuteret i det følgende afsnit.

Herefter vil de indsamlede data blive sammenlignet med tidligere publicerede og anvendte data, (9) og (25).

Endelig sammenlignes energiforbruget til materialefremstillingen med energiforbruget til driften for et lavenergihus.

### 6.1 Valg under dataindsamlingen

#### Systemgrænser

Der er beregnet både et nettoenergiforbrug og et bruttoenergiforbrug for det enkelte byggemateriale. Nettoenergiforbruget kan benyttes ved sammenligning med data fra andre kilder, medens bruttoenergiforbruget benyttes til at beregne forbrug af brændsler og emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. Tabel 23 viser forskellen mellem netto- og bruttoenergiforbruget. Denne forskel kan være op til 41% af bruttoenergiforbruget. Desuden vises "precombustion energy" som kan udgøre op til 9% af bruttoenergiforbruget.

Tabel 23. Energiforbrug til fremstilling af byggematerialer. I kolonne 3 angives forskellen mellem brutto- og nettoenergiforbruget, i kolonne 4 "precombustion energy".

| Energiforbrug   | Brutto<br>MJ/t | Netto<br>MJ/t | Brutto -<br>netto<br>% <sup>1)</sup> | "Pre-<br>combust."<br>% <sup>2)</sup> |
|-----------------|----------------|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Brændt kalk     | 9590           | 8340          | 13                                   | 9                                     |
| Rapid cement    | 6140           | 4750          | 23                                   | 9                                     |
| Fabriksbeton    | 485            | 375           | 23                                   | 9                                     |
| Porebetonblokke | 4900           | 3900          | 20                                   | 7                                     |
| Gipsplader      | 4300           | 3550          | 17                                   | 5                                     |
| Gule mursten    | 2940           | 2500          | 15                                   | 5                                     |
| Stålprofiler    | 13700          | 8050          | 41                                   | 7                                     |

<sup>1)</sup> Kolonnen giver forskellen mellem brutto- og nettoenergiforbruget i % af bruttoenergiforbruget.

<sup>2)</sup> Kolonnen giver "precombustion energy" i % af bruttoenergiforbruget.

#### Indsamlingsmetode

Der er her valgt at indsamle specifikke data for produkter ved interview af producenter. Indsamlingsmetoden giver data, der er gennemskuelige og konsistente, men giver ikke generelle data for byggematerialerne.

De indsamlede data vil senere indgå i det datamateriale, der skal benyttes til at fremskaffe generelle data.

#### Allokering af energi

Der er valgt at betragte elektriciteten som hovedproduktet, når der produceres elektricitet og varme samtidig. Det betyder, at der regnes med samme virkningsgrad (0,37), uanset om elektriciteten produceres på et kraft- eller et kraftvarmeværk. Betragtes elektricitet og varme som ligeværdige produkter (virkningsgrad 0,50), vil det bevirke en væsentlig ændring af fx emissionen pr. leveret energimængde for henholdsvis elektricitet og varme, se tabel 24.

Tabel 24. Virkningsgrad og emission pr. leveret energimængde afhængig af allokering af energi.

|                      | El   | Varme | El/Varme |
|----------------------|------|-------|----------|
| Virkningsgrad        | 0,37 | 1,35  | 0,50     |
| CO <sub>2</sub> g/MJ | 245  | 67,6  | 182      |
| SO <sub>2</sub> g/MJ | 0,88 | 0,24  | 0,65     |

Der er valgt ikke at allokere energi til fjernvarme, der fremkommer ved produktion af byggematerialer, da produktionen af fjernvarme ikke har øget energiforbruget til fremstilling af byggematerialet. Ved produktion af Hvid Portland cement udgør fjernvarmen således 30% af nettoenergiforbruget, og ved produktion af stålplader og -profiler ca. 5% af nettoenergiforbruget. Fjernvarmen betragtes altså som et biprodukt ved fremstilling af elektricitet og som et restprodukt ved fremstilling af byggematerialer.

Skrot defineres her som et råmateriale og bør derfor tildeles et energiforbrug. Der er i dette projekt ikke indhentet data, der gør det muligt at fastlægge dette energiforbrug. Derfor er der ikke allokert et energiforbrug til skrot.

#### Data for brændsler og transport

Der er hentet data fra litteraturen om brændværdier og emissionsfaktorer for brændsler. Det er især brændværdien af kul, der varierer, op til 40%. Det er valgt at regne med en brændværdi på 25,1 GJ/t, selvom de anvendte kul har en anden brændværdi. De beregnede kulmængder kan derfor afvige fra de aktuelt anvendte.

#### Usikkerhed og variation af bruttoenergiforbruget

Tabel 25 viser usikkerheden på bruttoenergiforbruget, beregnet ud fra usikkerheden på produktionsmængde og brændselsforbrug.

Der kan dog være andre faktorer, der påvirker variationen af bruttoenergiforbruget. For stålprofiler kan energiforbruget til fremstilling af råjern variere. Regnes der med en variation af dette på

50%, bevirker det en variation på 6% på bruttoenergiforbruget for stålprodukter. For porebeton kan bruttoenergiforbruget variere med produktionsmængden, idet energiforbruget til autoklavering af produkterne ikke øges i takt med en stigende produktionsmængde. En lille produktion vil derfor give et forholdsvis stort bruttoenergiforbrug. For gipsplader vil anvendelse af en større mængde industrigips formindske energiforbruget, da industrigips er et restprodukt. Fremover må der forventes, at der kan anvendes industrigips op til 90% af gipsblandingen, hvilket vil medføre en reduktion af bruttoenergiforbruget på 7%.

Tabel 25. Usikkerhed på bruttoenergiforbruget.

|              | Energi<br>MJ/t | Usikkerhed<br>% |
|--------------|----------------|-----------------|
| Brændt kalk  | 9590           | 7               |
| Rapid cement | 6140           | 2               |
| Fabriksbeton | 485            | 3               |
| Gule mursten | 2940           | 6               |

## 6.2 Sammenligning med tidligere resultater

### Energiforbrug

I tabel 26 er resultaterne sammenlignet med tidligere data for energiforbrug til fremstilling af de enkelte byggematerialer (9). Denne sammenligning viser, at der er sket en reduktion af energiforbruget i perioden fra 1979 til 1991-1994.

Tabel 26. Sammenligning mellem de indsamlede data (1994) og data fra 1979 (9). Der er korrigeret således, at tallene kan sammenlignes.

| Bruttoenergi-<br>forbrug | 1994<br>MJ/t | 1994, kor.<br>MJ/t <sup>1)</sup> | 1979, kor.<br>MJ/t <sup>2)</sup> | 1979<br>MJ/t |
|--------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Brændt kalk              | 9590         | 8720                             | 8350                             | 8820         |
| Rapid cement             | 6140         | 5590                             | 8040                             | 8420         |
| Fabriksbeton             | 485          | 440                              | 630                              | 700          |
| Porebetonblokke          | 4900         | 4540                             | 4140                             | 4500         |
| Gipsplader               | 4300         | 4070                             | 8000                             | 8640         |
| Gule mursten             | 2940         | 2780                             | 4086                             | 4086         |
| Stålprofiler             | 13700        | 12700                            | 18360                            | 18700        |

<sup>1)</sup> Bruttoenergiforbrug for byggematerialer i 1994 angivet i denne meddelelse fratrukket "precombustion energy".

<sup>2)</sup> Bruttoenergiforbrug for byggematerialer i 1979 fratrukket energiforbrug til transport af færdigt byggemateriale og afskrivning af produktionsapparat.

For cement er der tale om en ændring af processen fra en våd til semitør proces. For mursten af tegl er der sket en væsentlig reduktion af energiforbruget til selve brændingsprocessen. For stålprofiler skyldes reduktionen besparelser i energiforbruget til de forskellige processer ved fremstilling af stålet.

### Emissioner

De emissionsfaktorer, der er anvendt i (25), er beregnet ud fra oplysninger om branchernes forbrug af brændsler. Ved en sådan beregning tages der ikke hensyn til, at der ved fremstilling af brændt kalk og cement sker en emission af CO<sub>2</sub> på grund af spaltning af henholdsvis kalk og kridt. Ligeledes sker der ved brænding af kalk og cement en afsvoevling af røggassen. Der fås således med de nuværende data en højere emission af CO<sub>2</sub> og en lavere emission af SO<sub>2</sub> end ved de tidligere beregnede emissioner, se tabel 27.

Tabel 27. Emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for udvalgte byggematerialer.

| Emissioner      | Faktisk <sup>1)</sup><br>kg CO <sub>2</sub> /GJ | Teoretisk <sup>2)</sup><br>kg CO <sub>2</sub> /GJ | Faktisk <sup>1)</sup><br>g SO <sub>2</sub> /GJ | Teoretisk <sup>2)</sup><br>g SO <sub>2</sub> /GJ |
|-----------------|---|---|--|--|
| Brændt kalk     | 170   | 97,5  | 100  | 646,8  |
| Rapid cement    | 170   | 97,5  | 70   | 646,8  |
| Fabriksbeton    | 150   | 80,4  | 80   | 386,4  |
| Porebetonblokke | 110   | 80,4  | 98   | 386,4  |
| Gipsplader      | 51  |   | 280  |  |
| Gule mursten    | 88  | 79,3  | 120  | 391,7  |
| Stålprofiler    | 100   | 71,1  | 260  | 216,9  |

<sup>1)</sup> Faktisk emission, angivet i denne meddelelse.

<sup>2)</sup> Teoretisk emission, beregnet ud fra brændselssammensætning.

Tabel 27 viser, at SO<sub>2</sub>-emissionen er reduceret, hvilket skyldes, at der generelt er sket en reduktion af svovlindholdet i brændsler og en afsvoevling af røggassen ved fremstilling af elektricitet.

## 6.3 Energiforbrug og emissioner for lavenergihuse

For at vurdere betydningen af de energiforbrug og emissioner, der knytter sig til fremstillingen af de byggematerialer der medgår til opførelse, vedligehold og ombygninger af en bygning, er disse sammenlignet med de tilsvarende data for driften af samme bygning. Driften omfatter varme- (opvarmning, ventilation og varmt vand) og el-forbrug (belysning og husholdning).

### Materialefremstilling

Energiforbruget til materialefremstillingen er beregnet ud fra det gennemsnitlige materialeforbrug til énfamiliehuse i Danmark, således som det er beskrevet i (8). Forbrug af brændsler og emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> knyttet til materialeforbruget vedrører her alene fremstillingen af materialerne. Forbrug og emissioner knyttet til transport til byggeplads, opførelse, nedrivning og bortskaffelse bør også medtages i en fuldstændig sammenligning. Disse forbrug anses dog for de fleste materialer at være væsentligt mindre end de forbrug, der knytter sig til materialernes fremstilling.

Der er regnet med en levetid for bygningen på 50 år, og materialeforbrug til vedligehold og senere ombygninger er medregnet, som beskrevet i (8).

Der er anvendt data fra denne meddelelse og fra (25). For de materialer, som ikke er beskrevet i denne rapport, er emissionen beregnet på basis af energiforbruget. Når der senere foreligger mere præcise data for disse materialer, kan der altså forventes mindre ændringer af tallene i tabellen. Energiforbrug og emissioner er omregnet til mængde pr. år, således at dataene direkte kan sammenlignes med data for det årlige varme- og el-forbrug.

#### Varme- og el-forbrug

Energiforbruget til varme og el er målt og vedrører énfamiliehuse, hvis energiforbrug til opvarmning svarer til målsætningen i energihandlingsplanen, Energi 2000. Eksempler på sådanne lavenergihuse er beskrevet i (26), hvorfra data vedrørende energiforbrug til varme og el er hentet. Varme, som omfatter opvarmning, ventilation og varmt vand, regnes kun forsynet med kraft-varme. Ventilation vil dog ofte involvere et mindre forbrug af elektricitet. El-forbruget omfatter elforbrugende udstyr og lys. For de iagttagne huse er det vægtede gennemsnit for nettoenergiforbruget til varme 71,4 kWh/m<sup>2</sup>, eller ca. 250 MJ/m<sup>2</sup>, og til el-forbrug 28,3 kWh/m<sup>2</sup>, eller ca. 100 MJ/m<sup>2</sup>.

Nettoforbrugene af kraft-varme og elektricitet er på basis af oplysningerne i appendiks og oplysninger om "precombustion energy" omregnet til bruttoenergiforbrug. Der er regnet med en virkningsgrad for el på 0,37 og for kraft-varme på 1,35, se tabel 24. Der er regnet med 10% for "precombustion energy".

#### Sammenligning

Resultaterne af sammenligningen er vist i tabel 28, som giver en oversigt over de årlige energiforbrug og emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> for varme, el og materialer. Tabellen viser, at energiforbrug og emissioner knyttet til materialefremstilling spiller en væsentlig rolle, især hvis det på længere sigt lykkes at reducere de øvrige forbrug yderligere og at anvende vedvarende energikilder til opvarmning. Energiforbruget til materialefremstilling kan reduceres dels ved energieffektivisering hos producenterne, dels ved reduktion af materialeforbruget eller ved anvendelse af andre mindre energikrævende materialer i byggeriet.

Tabel 28. Energiforbrug og emissioner til varme, el-forbrug og materialefremstilling pr. år over en 50-årig periode i lavenergihuse.

| Aktiviteter                          | Energiforbrug               |                            | Emissioner                           |                                     |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
|                                      | Brutto<br>MJ/m <sup>2</sup> | Netto<br>MJ/m <sup>2</sup> | CO <sub>2</sub><br>kg/m <sup>2</sup> | SO <sub>2</sub><br>g/m <sup>2</sup> |
| Varme                                | 200                         | 250                        | 17                                   | 60                                  |
| El-forbrug                           | 300                         | 100                        | 25                                   | 90                                  |
| Materialefremstilling<br>(andel i %) | 60<br>(11%)                 |                            | 6<br>(13%)                           | 9<br>(6%)                           |
| I alt                                | 560                         |                            | 48                                   | 159                                 |

## 7 Kilder og referencer

1. Jönsson, Å., Tillman, A.-M., Svensson, T. Livscykelanalys av golv-material. En jämförelse av linoleum, PVC-matta och massivt furugolv. Statens Råd för byggnadsforskning. Stockholm 1994. (R30:1994).
2. West, J., Atkinson, C., Howard N. Embodied energy and carbon dioxide emissions for building materials. Proceedings of the First International Conference on Buildings and the Environment. Organised by CIB Task Group 8 Environmental Assessment of Buildings. 16-20 May 1994. Building Research Establishment, BRE. Watford, UK. 1994.
3. Petersen, E. P. Miljøvurdering af bygningsdele. Igangværende ph.d-projekt. Statens Byggeforskningsinstitut.
4. Development of a framework for environmental assessment of building materials. Igangværende Brite-EuRam program.
5. Thermal wall insulation products assessment and criteria for eco-labelling. dk-teknik. København 1993.
6. European Eco-label. Project for application of paints and varnishes. Vol. 5. Results of the extension phase. The life cycle analysis of eleven indoors decorative paints. Ecobilan. Paris 1993.
7. Environmental data for building materials for the Nordic countries. Principles and guidelines for collection of data. Environmental data for cement, concrete and timber. Tema Nord 1995:577. Nordisk Ministerråd. København 1995.
8. Byggeriets materialeforbrug. Registrering af bygningsdele og byggematerialer, som har særlig betydning for indførelsen af renere teknologi. Axel Nielsen, Carl Bro A/S, og Statens Byggeforskningsinstitut, SBI. Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. København 1993. (Miljøprojekt nr. 221).
9. Andersen, S. Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af byggematerialer. Danmarks Tekniske Højskole. Institut for Husbygning. Lyngby 1979. (Rapport nr. 134).
10. Tillman, A.-M., Baumann, H., Eriksson, E., Rydberg, T. Life-cycle analyses of selected packaging materials. Quantification of environmental loadings. Chalmers Industriteknik, Göteborg, Sverige. 1991.



11. Buhl Pedersen, P. Livsforløbsanalyser af decentrale kraftvarmeværker. Energi- og miljøanalyser. dk-teknik. København 1991.
12. Transporthandlingsplan for miljø og udvikling. Bilagsrapport. Trafikministeriet. København 1990.
13. Andersen, F. M., Kilde N. A., Nielsen. C. H., Præstegaard, S. En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>-emission. Risø-M-2920. Forskningscenter Risø. Roskilde. 1991.
14. Statistik 1993. Dansk elforsyning. Danske Elværkers Forening, DEF. København. 1994.
15. Proceedings of the First International Conference on Buildings and the Environment. Organised by CIB Task Group 8. Environmental Assessment of Buildings. 16-20 May 1994. Building Research Establishment, BRE. Watford, UK. 1994.
16. Kirk, R. E. Encyclopedia of chemical technology. Kirk-Othmer. 4. ed. London. John Wiley, 1991-94. (A Wiley Interscience publication).
17. Gerhart, W. et al. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. 5. completely rev. ed. Weinheim. VCH, 1985-94.
18. Industri og energi. København. Danmarks Statistik, 1983. (Statistiske efterretninger).
19. Fox, M. Dansk byggevareindustri: Kortlægning af struktur og miljø. Dansk Teknologisk Institut, DTI. Byggeteknisk Institut. Miljø- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen. København. 1994. 250 s. (Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 58).
20. A technical framework for life-cycle assessments. Workshop report. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Vermont, August 18-23, 1990.
21. Design materialer miljø. En håndbog fra O2 Danmark. O2 Danmark. København. 1993.
22. Sundberg, K. Miljökonsekvenser av byggnadsmaterial. Gipsskivan -en livscykelanalys. Kungliga Tekniska Högskolan, KTH. Byggnadsmaterial. Stockholm. 1993. (TRITA-BYMA 1994:1).
23. Teglværkers energiforbrug. Samlet energiundersøgelse for 1994. Internt arbejdsrapport. Dansk Teknologisk Institut, DTI. Murværkscentret. Hasselager. 1994.
24. Howard, N. Environmental impacts of construction materials. Section C: Metals CIRIA Project 461. Davis Langdon Consultancy, 20 April 1994 (draft).
25. Andersen S. Ø., Dinesen, J., Knudsen H. H., Willendrup, A. Livscyklus-baseret bygningsprojektering, Energi- og miljøanalysemodel, beregningsværktøj og database. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI. Hørsholm 1993. (SBI-rapport 224).
26. Olufsen, P. Energiforbruget i nyere enfamiliehuse. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI. Hørsholm 1995. (SBI-rapport 243).
27. Energy Statistics 1993. Danish Energy Agency. Ministry of Environment and Energy. Copenhagen.



## 8 Appendiks

### 8.1 Brændselsforbrug og emissioner ved elektricitetsfremstilling

I Danmark produceres det meste elektricitet ved anvendelse af fossile brændsler, og kun en mindre mængde produceres ved anvendelse af vedvarende energi som vindkraft og vandkraft.

Produktionen sker både på kraftværker, der har en virkningsgrad på ca. 0,40, og på kraftvarmeværker, der har en virkningsgrad på 0,90. Ved den samtidige produktion af elektricitet og varme på kraftvarmeværker er det nødvendigt at allokere en del af energiforbruget til den producerede elektricitetsmængde og resten til den producerede fjernvarme. Her er valgt at betragte elektriciteten som hovedprodukt og fjernvarme som biprodukt. Der er valgt at allokere det samme energiforbrug pr. mængde elektricitet, uanset om den fremstilles på kraft- eller kraftvarmeværker. Det resterende energiforbrug på kraftvarmeværker allokere således til den producerede fjernvarme. Ved denne allokering fås en virkningsgrad for den leverede elektricitet på 0,37 og en virkningsgrad for den leverede fjernvarme på 1,35.

#### Brændselsforbrug til fremstilling af elektricitet og varme

Produktionen af elektricitet sker i dag på offentligejede værker. For disse værker er der oplysninger om forbrug af brændsler og emissioner af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. I tabel 29 er givet brændselsforbruget for 1993.

Tabel 29. Brændselsforbruget til fremstilling af elektricitet og varme på offentligejede værker i 1993 (14).

| Energi   |                  | El + varme | El    | Varme |
|----------|------------------|------------|-------|-------|
| Kul      | PJ <sup>1)</sup> | 280,6      | 252,5 | 28,1  |
| Fuelolie | PJ               | 8,9        | 7,8   | 1,1   |
| Naturgas | PJ               | 10,8       | 4,0   | 6,8   |
| Andet    | PJ               | 5,6        | 1,2   | 4,4   |
| Sum      |                  | 305,9      | 265,5 | 40,4  |

<sup>1)</sup> PJ er 10<sup>9</sup> MJ.

En del af den producerede elektricitet eksporteres, men der importeres også elektricitet. Både importen og eksporten varierer fra år til år, og der findes ikke oversigter eller prognoser for en længere periode. Der regnes derfor i denne meddelelse med, at al elektricitet er produceret på danske værker. Elektricitet, der er fremstillet i andre lande, kan være fremstillet, fx ved vandkraft eller atomkraft, og

dermed have et andet brændselsforbrug end dansk produceret elektricitet.

Ved distribution af elektricitet sker der et tab på 7,4% og for varmen et tab på 22,4% (27). Regnes der med disse tab, fås der en virkningsgrad for elektricitet på 0,37, målt ved forbruger, og en virkningsgrad for varme på 1,35, målt ved forbruger, se tabel 30.

Tabel 30. Energiforbruget til fremstilling af elektricitet og varme på offentligejede værker i 1993 (14).

| Energi         |                  | El + varme | El               | Varme              |
|----------------|------------------|------------|------------------|--------------------|
| Energiforbrug  | PJ <sup>1)</sup> | 305,9      | 265,5            | 40,4               |
| Produktion     | PJ               | 177,4      | 107              | 70,4               |
| Leveret energi | PJ               | 154        | 99 <sup>2)</sup> | 54,7 <sup>2)</sup> |
| Virkningsgrad  |                  | 0,50       | 0,37             | 1,35               |

<sup>1)</sup> PJ er 10<sup>9</sup> MJ.

<sup>2)</sup> Distributionstab er 7,4% for el og 22,4% for varme (27).

Tabel 31. Samlet brændselsforbrug og brændselsforbrug pr. leveret energimængde i 1993.

| Brændselsforbrug         |                      | El + varme | El      | Varme    |
|--------------------------|----------------------|------------|---------|----------|
| - kul                    | mio. t               | 11,1       | 10,0    | 1,13     |
| - olie                   | mio. t               | 0,221      | 0,193   | 0,028    |
| - gas                    | mio. Nm <sup>3</sup> | 276        | 103     | 173      |
| Pr. leveret energimængde |                      |            |         |          |
| - kul                    | kg/MJ                | 0,0722     | 0,101   | 0,0206   |
| - olie                   | kg/MJ                | 0,00144    | 0,00195 | 0,000512 |
| - gas                    | Nm <sup>3</sup> /MJ  | 0,00179    | 0,00104 | 0,00316  |

#### Emissioner ved fremstilling af elektricitet og varme

De offentligejede værker har givet oplysninger om emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. Emissionen af CO<sub>2</sub> er beregnet ud fra brændsels sammensætningen, medens emissionen af SO<sub>2</sub> er målt. Emissionerne er fordelt på elektricitet og varme i forhold til brændselsforbruget, der er anvendt til fremstilling af henholdsvis elektricitet og varme.

I tabel 32 er emission af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> pr. leveret mængde energi beregnet. Emissionen pr. leveret mængde elektricitet er anvendt ved beregningerne af emission pr. t produceret byggemateriale.

Emissionen af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> pr. leveret mængde varme er anvendt til beregning af den totale emission fra lavenergihuse.

Tabel 32. Samlede emissioner for de danske elværker og emissioner pr. leveret energimængde i 1993.

| Emissioner               |        | El + varme | El     | Varme  |
|--------------------------|--------|------------|--------|--------|
| CO <sub>2</sub>          | mio. t | 28         | 24,3   | 3,7    |
| SO <sub>2</sub>          | mio. t | 0,100      | 0,0868 | 0,0132 |
| Pr. leveret energimængde |        |            |        |        |
| CO <sub>2</sub>          | g/MJ   | 182        | 245    | 67,6   |
| SO <sub>2</sub>          | g/MJ   | 0,649      | 0,876  | 0,241  |

## 9 Summary

### *SBI Bulletin 113:*

#### *Environmental data for selected building materials.*

#### *Consumption of fossil fuels and emissions of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>*

This SBI bulletin contains data for energy consumption and emissions related to the production of a number of major processed raw materials and building materials. The energy consumption covers the entire process from extraction of resources to delivery of the finished building materials "cradle to gate". The data collected can be used as a basis for choosing materials for building elements and buildings with the aim of reducing consumption of fossil fuels or reducing emissions of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>. In an environmental assessment of building materials the entire life cycle should be considered and account should also be taken of a number of other environmental parameters.

The results are given partly as a net and a gross energy consumption and partly as a consumption of coal, oil and natural gas. The CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> emissions are also given. All the values have been calculated on the basis of data collected from manufacturers. The main results are summarised below.

The results depend to a great extent on the choices and limitations made during the collection and later processing of the data. In connection with the presentation of the results it is therefore important to describe and discuss these choices and limitations. This is done in the section: Conclusions, page 50.

### *Main results*

#### **Net energy consumption**

The net energy consumption comprises the energy consumption for extraction, transport and production of the resources, raw materials and building materials used, see table 33.

The manufacturers were able to provide information on the energy consumption for those processes they themselves carry out. It was more difficult to obtain information about the embodied energy for processed raw materials, especially imported ones. These data were largely gathered from the literature.

The energy consumption for production of processed raw materials occurring as waste materials from other processes, e.g. fly ash and gypsum from desulphurization of flue gas, is not taken into account.

The energy consumption for production of processed raw materials occurring as waste materials from other processes, e.g. fly ash and gypsum from desulphurization of flue gas, is not taken into account.

Tabel 33. Net energy consumption for production of building materials. Electricity consumption is included in energy consumption in column 1 and is therefore given in brackets.

| Building materials                 | Net energy<br>MJ/t | Electricity<br>MJ/t |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|
| Burnt lime, milled                 | 8340               | (225)               |
| Cement                             |                    |                     |
| - rapid-hardening                  | 4750               | (490)               |
| - standard                         | 3730               | (430)               |
| - white                            | 8300               | (440)               |
| - low-alkali<br>sulphate-resistant | 7020               | (380)               |
| Concrete                           |                    |                     |
| - 25 MPa                           | 375                | (39)                |
| - 30 MPa                           | 490                | (51)                |
| - 35 MPa                           | 915                | (52)                |
| Aerated, autoclav.concrete         |                    |                     |
| - blocks                           | 3900               | (375)               |
| - components                       | 4540               | (435)               |
| Gypsum boards                      | 3550               | (303)               |
| Bricks                             |                    |                     |
| - yellow                           | 2500               | (164)               |
| - red                              | 2150               | (164)               |
| Steel                              |                    |                     |
| - plates                           | 10000              | (2980)              |
| - bars                             | 8050               | (2730)              |

### Gross energy consumption

The gross energy consumption comprises the net energy consumption plus losses in connection with production and supply of electricity and the energy consumption in connection with production, transport and any processing of coal, oil and natural gas, "precombustion energy", see table 34. The table also shows the total consumption of coal, oil and natural gas. The emissions of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> associated with the gross energy consumption are given in table 35. These emissions have mainly been calculated on the basis of emission factors for the fuels. For milled burnt lime the emissions of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> have been measured, and for cement the SO<sub>2</sub> emission has been measured.

Tabel 34. Gross energy consumption and consumption of coal, oil and natural gas for production of building materials. The "preconsumption energy" (figures in brackets) is included in the energy consumption.

| Building materials                 | Gross energy<br>MJ/t |                      | Coal<br>kg/t      | Oil<br>kg/t | Natural gas<br>Nm <sup>3</sup> /t <sup>4)</sup> |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------|---|
| Burnt lime, milled                 | 9590                 | (866)                | 283               | 37          | 2,0   |
| Cement                             |                      |                      |                   |             |   |
| - rapid-hardening                  | 6140                 | (553)                | 206               | 8,8         | 0,51  |
| - standard                         | 4900                 | (442)                | 164               | 7,6         | 0,45  |
| - white                            | 9950                 | (900)                | 44                | 48          | 0,46  |
|                                    |                      |                      | 188 <sup>1)</sup> |             |   |
| - low-alkali<br>sulphate-resistant | 8440                 | (764)                | 223               | 9,1         | 0,40  |
|                                    |                      |                      | 52 <sup>1)</sup>  |             |   |
| Concrete                           |                      |                      |                   |             |   |
| - 25 MPa                           | 485                  | (44)                 | 14                | 2,0         | 0,040   |
| - 30 MPa                           | 633                  | (57)                 | 19                | 2,3         | 0,052   |
| - 35 MPa                           | 1100                 | (100)                | 27                | 3,2         | 0,054   |
|                                    |                      |                      | 6 <sup>1)</sup>   |             |   |
| Aerated, autoclav.concrete         |                      |                      |                   |             |   |
| - blocks                           | 4900                 | (364)                | 91                | 12          | 44  |
| - components                       | 5720                 | (422)                | 107               | 13          | 52  |
| Gypsum boards                      | 4300                 | (235)                | 31                | 39          | 23 <sup>2)</sup>                                |
| Bricks                             |                      |                      |                   |             |   |
| - yellow                           | 2940                 | (160)                | 17                | 0,64        | 59  |
| - red                              | 2580                 | (142)                | 17                | 0,64        | 50  |
| Steel                              |                      |                      |                   |             |   |
| - plates                           | 16330                | (1215) <sup>3)</sup> | 406               | 8,9         | 87  |
| - bars                             | 13700                | (1010)               | 353               | 8,1         | 52  |

<sup>1)</sup> The quantity of Pet-coke, a residual product from oil refining.

<sup>2)</sup> Waste gas from refinery.

<sup>3)</sup> It is not possible to convert the entire energy consumption into a consumption of fossil fuels.

<sup>4)</sup> Nm<sup>3</sup> = normal cubic metre (at 0 °C and 1 ato).

Tabel 35. Gross energy consumption and emissions of CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> in connection with production of building materials.

| Building materials                 | Gross energy<br>MJ/t | Emissions            |                       |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|                                    |                      | t CO <sub>2</sub> /t | kg SO <sub>2</sub> /t |
| Burnt lime, milled                 | 9590                 | 1,6                  | 1,0                   |
| Cement                             |                      |                      |                       |
| - rapid-hardening                  | 6140                 | 1,0                  | 0,43                  |
| - standard                         | 4900                 | 0,83                 | 0,39                  |
| - white                            | 9950                 | 1,5                  | 2,9                   |
| - low-alkali<br>sulphate-resistant | 8440                 | 1,3                  | 1,0                   |
| Concrete                           |                      |                      |                       |
| - 25 MPa                           | 485                  | 0,071                | 0,040                 |
| - 30 MPa                           | 633                  | 0,095                | 0,050                 |
| - 35 MPa                           | 1100                 | 0,16                 | 0,15                  |
| Aerated, autoclav.concrete         |                      |                      |                       |
| - blocks                           | 4900                 | 0,52                 | 0,48                  |
| - components                       | 5720                 | 0,61                 | 0,56                  |
| Gypsum boards                      | 4300                 | 0,22                 | 1,2                   |
| Bricks                             |                      |                      |                       |
| - yellow                           | 2940                 | 0,26                 | 0,34                  |
| - red                              | 2580                 | 0,15                 | 0,14                  |
| Steel                              |                      |                      |                       |
| - plates                           | 16330                | 1,7 <sup>1)</sup>    | 4,0                   |
| - bars                             | 13700                | 1,4                  | 3,5                   |

<sup>1)</sup> It is not possible to calculate emissions from the whole energy consumption.

### Conclusions

This bulletin presents up-to-date energy and emission data for the production of some major building materials and describes and discusses a number of choices that have to be made when collecting and processing such data. It can be concluded:

- that energy consumption is particularly high for heat demanding processes and much lower for mechanical processes
- the losses and energy consumption in connection with electricity production and procurement of fuels contribute considerably to the gross energy consumption
- that there is no clear relationship between gross energy consumption and emissions of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>
- that the energy consumption for production of a given building material can vary considerably.

Lastly, an analysis of the total energy consumption for production and operation of low-energy houses shows that the consumption for production of building materials accounts for a substantial part of this.

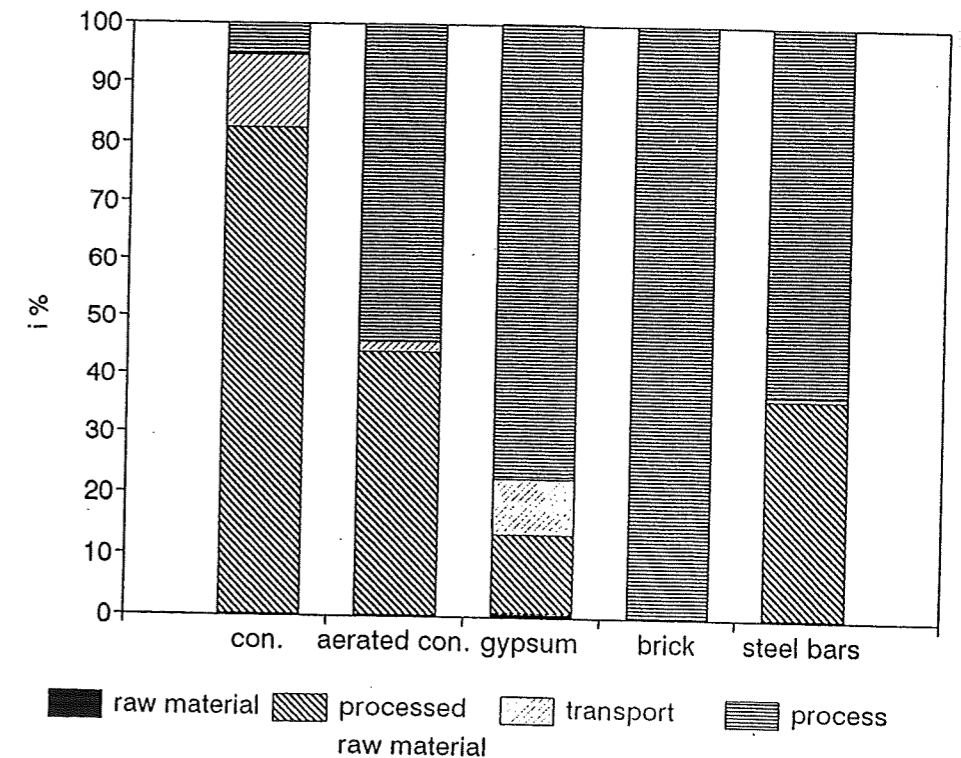


Figure 2. Breakdown of net energy consumption between raw materials, processed raw materials, transport and processes associated with the production of the building materials considered.

It is particularly production processes involving high temperatures (1000 - 1500 °C) that result in a large energy consumption but lower-temperature processes also have a large energy consumption.

The energy consumption for transport and mechanical processes in connection with, for example extraction of resources plays a minor role for most materials. On the other hand, losses and energy consumption in connection with procurement of fuels and production of electricity account for a considerable proportion of the gross energy consumption - 10-40% in all - the highest proportion being for processes with a big electricity consumption. It is thus necessary to include the losses and energy consumption in question in order to have a complete calculation of the consumption of energy raw materials.

Because the losses in connection with production of electricity play a major role, it is also important to determine the allocation of energy consumption and emissions between electricity and cogenerated heat. Here, an efficiency factor of 0.37 has been used for electricity and 1.35 for heat. No energy consumption has been attributed to waste and recycled materials, e.g. fly ash and steel scrap.

During collection of data importance has been attached to determining which process contributes significantly to the energy consumption. For this reason, the energy consumption for fabrication of production equipment and construction of buildings, for example, has not been taken into account. In this connection it is important to remember that the data presented here concern only the production of building materials. The energy consumption for transport to building site, construction, maintenance, demolition and disposal must be evaluated and, if necessary, included in a more complete investigation.

For the emissions there is no clear relationship between energy consumption and quantity of emissions. For the materials investigated, the emissions are 50-170 kg CO<sub>2</sub> and 70-280 g SO<sub>2</sub> per GJ gross energy consumption. The reason for the variation is partly that the fuels have different emission factors and partly that the processes used can affect the quantities emitted.

The data collected are specific for the selected manufacturers and therefore do not give a precise picture of the variation applying to general data for the selected types of products. Further work will be done on this aspect at a later date. However, the comparisons with earlier data and information from a single manufacturer and a single sector indicate a substantial variation.

The variation may be due to differences concerning raw materials, production methods, energy management and utilisation of production capacity - also for the individual manufacturer. The comparison with earlier data indicates that there has been a reduction in energy consumption for most materials since 1979.

Lastly, the analysis of the total energy consumption for low-energy houses heated with cogenerated heat shows that energy consumption and emissions associated with the production of building materials account for a substantial proportion of the buildings' total consumption and emissions. Considering the material consumption over a 50-year period, about 13% of the CO<sub>2</sub> emission per year can be attributed to the production of the materials. About 52% of the CO<sub>2</sub> emission per year can be attributed to the electricity consumption. In this connection it must be stressed that although cogenerated heat and renewable energy can be used for heating purposes in many places, the production of materials is generally dependent on high-value forms of energy.



Det har vist sig, at der ved miljøvurdering af bygningsdele er et stort behov for miljødata af god kvalitet for de enkelte byggematerialer. Denne SBI-meddelelse giver data for energiforbrug og emissioner ved fremstilling af en række vigtige råmaterialer og byggematerialer. Alle resultaterne er beregnet ud fra data indsamlet direkte hos en række producenter. Resultaterne afhænger af de valg og afgrænsninger, der foretages under indsamlingen og den senere bearbejdning af data. Derfor er disse valg og afgrænsninger nøje behandlet og beskrevet. Meddelelsen har interesse for alle, som beskæftiger sig med miljødata for byggematerialer.