

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **134**

SIGURD ANDERSEN

**DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG
TIL FREMSTILLING AF BYGGEMATERIALER**

Den polytekniske Lærestalt, Danmarks tekniske Højskole
Lyngby 1979

FORORD

Nærværende udredning indgår i mit licentiatstudium ved Instituttet for Husbygning, DTH, i 1977-80. I denne egenskab må den ses i sammenhæng med rapportererne:

- 1) "Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af boliger".

IFH-Rapport nr. 137, 1980

og

- 2) "Isostatplader".

IFH-Rapport nr. 136, 1980

De enkelte afsnit har af denne grund fået tildelt startcifret 3, jvf. 1).

Rapporten er resultatet af et litteraturstudium og en dataindsamling, som bl.a. er gjort mulig med velvillig bistand fra mange virksomheder og offentlige institutioner.

I denne forbindelse vil jeg personligt gerne takke de firmaer og institutioner, der har hjulpet mig, enten ved at besvare de udsendte spørgeskema og øvrige skriftlige henvendelse eller ved mundtlige oplysninger.

Idet firmaerne har ønsket at være anonyme, skal her blot nævnes institutionerne

Dansk Kedelforening
Teknologisk Institut
Svenska Plywood Föreningen
Svenska Träforsknings Institutet
Institutter og Laboratorier på DTH.

Desuden rettes en tak til ansatte på Instituttet for Husbygning, DTH, specielt til faglærerne: lektor Erik Reitzel og professor, arkitekt m.a.a. Knud Peter Harboe, der har givet megen inspiration og vejledning; og til Hanne Hindsgaul Rasmussen og Niels Hansen for tålmodigt skrive-/trykkearbejde.

Sigurd Andersen

december 1979

INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
FORORD	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	2
RESUME	5
SUMMARY	6
3.0 INDLEDNING	7
3.0.1 Usikkerhed	11
3.1 METODE	12
3.1.1 Beregningsmetode for ASF,MSF og FSF	15
3.1.2 Transportens energiforbrug	19
3.1.3 Energikonvertering	25
3.1.4 Beregning af Gross Energy Requirement	29
3.2 SYSTEMATIK	31
3.2.1 Litteratur	36
3.3 RÅSTOFFER	38
3.3.0 Generelt	38
3.3.1 Sten, grus og sand	38
3.3.2 Ler	41
3.3.3 Jernmalm og andre malme	41
3.3.4 Kalk	41
3.3.5 Brændt kalk	43
3.3.6 Træ	44
3.3.7 Natursten	48
3.3.8 Litteratur	49
3.4 FRISK BETON OG MØRTEL	51
3.4.0 Generelt	51
3.4.1 Cement	51
3.4.2 Mørtel	55
3.4.3 Færdigblandet beton	56
3.4.4 Porebeton	59
3.4.5 Letkornbeton	60
3.4.6 Litteratur	61
3.5 TEGL	62
3.5.0 Generelt	62
3.5.1 Teglprodukter	63
3.5.2 Keramiske fliser	68
3.5.3 Litteratur	69

3.6	METALLER	70
3.6.0	Generelt	70
3.6.1	Stål.....	70
3.6.1.1	Råstål	71
3.6.1.2	Valset stål	71
3.6.1.3	Støbejern	77
3.6.1.4	Svejst stål	78
3.6.1.5	Galvanisering	79
3.6.2	Aluminium	83
3.6.3	Kobber	87
3.6.4	Zink og andre metaller	91
3.6.5	Litteratur	93
3.7	TRÆ	95
3.7.0	Generelt	95
3.7.1	Savskæring	96
3.7.2	Trætørring	98
3.7.3	Spåntagende processer	105
3.7.4	Fibermateriale	107
3.7.5	Limning	109
3.7.6	Imprægnering	111
3.7.7	Fastlæggelse af værdier for det specifikke energiforbrug	113
3.7.8	Litteratur	119
3.8	GLAS OG MINERALSKE FIBERMATERIALER	122
3.8.0	Generelt	122
3.8.1	Planglas	122
3.8.2	Termoruder	129
3.8.3	Andre glasmaterialer	131
3.8.4	Mineraluld.....	133
3.8.5	Andre mineralfibre.....	136
3.8.6	Litteratur	137
3.9	BETON, FÆRDIGE PRODUKTER	139
3.9.0	Generelt	139
3.9.1	Kalksandsten.....	145
3.9.2	Betonelementer	147
3.9.3	Porebeton	151

3.9.4 Letkornsbeton	153
3.9.5 Asbestbeton	157
3.9.6 Litteratur	160
3.10 PLASTMATERIALER	161
3.10.0 Generelt	161
3.10.1 Polyvinylklorid	162
3.10.2 Polyethylene	163
3.10.3 Polypropylene	163
3.10.4 Polystyrene	164
3.10.5 Fastlæggelse af energiforbruget	164
3.10.6 Andre plastmaterialer	166
3.10.7 Litteratur	167
3.11 ANDRE MATERIALER	168
3.11.0 Generelt	168
3.11.1 Fugemasser og fugeprofiler	168
3.11.2 Bitumen og asfaltpap	170
3.11.3 Lim	175
3.11.4 Gipsplader	177
3.11.5 Imprægneringsvæsker	180
3.11.6 Opsamling	182
3.11.7 Litteratur	184
3.12 SPØRGESKEMA M.M.	185
3.13 BESPARELSESMULIGHEDER	189
3.13.1 Litteratur :	192
3.14 VERDIER FOR MATERIALERNES AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG	193

RESUMÉ

I denne rapport er der gjort et forsøg på at bestemme energiforbruget til fremstilling af de mest forekommende byggematerialer, akkumuleret fra råstofudvindingen til det leverede slutprodukt (se f.eks. side 143-144).

Der opstilles i rapportens begyndelse en række definitioner af energiforbrug og produktion, der i højere grad er baseret på samfundsmæssige end på produktionsmæssige synspunkter.

I rapporten arbejdes der med tre energiforbrugsværdier til vurdering af

- 1) den eksisterende produktion,
- 2) en maksimal forbedring af energianvendelsen i den nuværende produktion,
- 3) et fysisk-kemisk minimalt energiforbrug i produktionen.

Hvis de sidstnævnte to størrelser betragtes som grænseværdier for praktisk opnåelige og teoretisk opnåelige energiforbrug, nås der i slutningen af rapporten frem til, at der vil være maksimale besparelser på gennemsnitligt 40-50% at hente i praksis, mens de teoretiske besparelser i gennemsnit vil være 80-90% af de nuværende forbrug til fremstilling af byggematerialer.

Af de fundne værdier, opført i afsnit 3.14, hvor også energiforbruget bestemt efter IFIAS-konventionerne er anført, kan det ses, at det specielt er metallerne, plastmaterialerne og glasprodukter, men også visse former for bygningsplader, der er energintensive byggematerialer. Det skal imidlertid understreges, at værdierne er beregnet til at danne grundlag for en videre energianalyse af færdige konstruktioner, og først da er sammenligningen interessant. I denne forbindelse henvises der til [80.0].

SUMMARY

In this report an effort is made to estimate the energy required for the production of the common building materials, accumulated from the extraction of raw materials to the delivery of the final product (see for example page 143-144).

At the beginning of the report is introduced a series of conventions regarding energy consumption and production, rather considering the society than the production.

This report deals with 3 values for energy consumption taking into account the existing production, a reduced energy consumption in the present production, as well as a physical-chemical minimum energy consumption in the production.

If the latter two values are considered as limits for the practical and theoretical attainable minimum energy consumption we find later in the report that it will be possible to save up to 40-50% in practice, while the theoretical savings are up to 80-90% of the energy consumption in the existing production.

From the values found (see chapter 3.14) it can be seen that especially the metals, the plastic materials, the glass products, and also certain building plates are energy intensive building materials.

However, it must be emphasized that the values given in this report are meant to form the basis of a further energy analysis of the completed constructions. Only then is a comparison of interest. (See also [80.0])

3.0 INDLEDNING

Interessen for ressourceproblematik, d.v.s. energianalyser m.m. er forholdsvis ny og er først rigtigt blusset op efter oliekrisen i 1973.

Der var imidlertid også i efterkrigstiden, især i England, interesse for emnet.

HMSO - Her Majesty's
Stationary Office [48.1]

Forsyningskrisen var dengang ikke alene en energiforsyningskrise, men gjaldt mange materialer. Især undersøgelser foretaget af HMSO i London behandler ressourceforbruget i byggeriet og bestemmer retningsgivende værdier for energiforbruget til fremstilling af materialerne i flere bygninger.

Mathiassen og Reitzel
FREJA-gruppen- Kunstakademiets arkitektskole

I Danmark er dette emne først taget op i begyndelsen af 70'erne af bl.a. Mathiassen og Reitzel [74.2] og senere f.eks. FREJA-gruppen [74.0], men med hensyn til energiforbruget ved fremstilling af bygningsmaterialer dog kun på et summarisk niveau.

IFIAS - International
Federation of Institutes
for Advanced Study

Alt imens blev der internationalt gjort et stort arbejde, specielt i IFIAS-regi, for at bringe de mange diffuse forsøg på at analysere energiforbruget ved fremstilling af materialer ind i samme metodik.

Det endte i 1974 med et sæt "standardiserede" analysemetoder som blev beskrevet i slutrapporten fra et IFIAS work-shop-arbejde [74.1].

Søren Alrøe DTH

Metoderne er især slået rigtigt igennem i England og i Sverige, hvor der siden er gjort et stort arbejde indenfor nærværende rapports emne, men også i Danmark arbejdes der efter metoderne; et eksempel er Søren Alrøes arbejde som erhvervsforsker [77.0].

Dansk Kedelforening

I Danmark er der specielt mht. danske forhold gennemført undersøgelser af Dansk Kedelforening støttet af Teknologirådet, [76.0] og [78.0], som dog ikke benytter sig af de standardiserede analysemetoder.

Arbejdet, som belyses i de følgende afsnit, har bevæget sig på tre felter:

- 1) En viderebehandling af resultaterne fra undersøgelserne [76.0] og [76.1]
- 2) Et litteraturstudium af andre kilder, der både har været af samme art som 1, og mere eller mindre standardiserede analyser

3) Indhentning og behandling af data fra danske industrivirksomheder (se afsnit 3.12)

Det har i denne databehandling - måske i højere grad end i andre undersøgelser - været nødvendigt at udvælge data efter et kvalificeret skøn, både med hensyn til materialeudvalg og kilder.

Resultaterne må derfor ikke betragtes som endelige, men snarere som et skridt på vejen mod et tilstrækkeligt nøjagtigt grundlag for energianalyser i byggeriet.

Nytten af et sådant grundlag skal illustreres ved, at der peges på nogle anvendelsespunkter.

- a) Det kan være et redskab, som kan indgå i kortlægningen af energiforbruget til fremstilling af bygninger. Et eksempel på dette er [80.0]. Formålet kan da være at afsløre meget energikrævende byggemetoder.
- b) Det kan være et redskab til bestemmelse af det totale energiforbrug i forbindelse med boligen over boligens levetid. Sådanne totalbetragtninger vil blive mere og mere påkrævende jo højere isoleringstandard boligerne får, idet den marginale driftsenergiefterbesparelse og den marginale energiinvestering da bliver af samme størrelsesorden (se f.eks. [78.1]).
- c) Det kan være et redskab til bestemmelse af de relative energiprisstigningers indvirkning på materialernes indbyrdes konkurrenceevne.

Hovedsigtet med undersøgelsen her, er at opfylde forudsætningerne for punkt a) og til dels b), og den skal - som nævnt i forordet - ses i sammenhæng med rapporter-
ne [80.0] og [80.1].

De videre perspektiver for de under a) og b) nævnte anvendelser er som omtalt uddybet i rapporten [80.0] "Energiforbrug til fremstilling af Boliger", men skal kort resumeres.

Kortlægningen af energiforbruget til fremstilling af boliger kan både foregå på den enkelte bygnings niveau og på den totale bygningssektors niveau.

Et typisk energiregnskab for et gennemsnitsbyggeri er vist i tabel 3.0.1, hvor energiforbruget til fremstilling af materialerne, leveret på byggepladsen, er beregnet efter de i denne rapport givne retningslinier.

Det ses, at energiforbruget, der er gemt i materialerne, er betydeligt større end det direkte energiforbrug på byggepladsen og derfor er en meget væsentlig parameter i kortlægning med ovennævnte formål.

Energiforbrug til fremstilling af en gennemsnitsbolig:

energiforbrug til importerede materialer:	350 kWh/m ² etageareal
energiforbrug til danske materialer:	850 kWh/m ² etageareal
energiforbrug på byggepladsen:	100 kWh/m ² etageareal
energiforbrug til fremstilling af bolig:	1300 kWh/m ² etageareal

Årligt driftsenergiforbrug (BR-77):

opvarmning:	110 kWh/m ² år
varmt vand	40 kWh/m ² år
elforbrug*)	90 kWh/m ² år
samlet driftsforbrug	240 kWh/m ² år

Årligt gennemsnitsforbrug for alle danske boliger:

350 kWh/m² år

Tabel 3.0.1:

Energiforbrug i forbindelse med boligen.

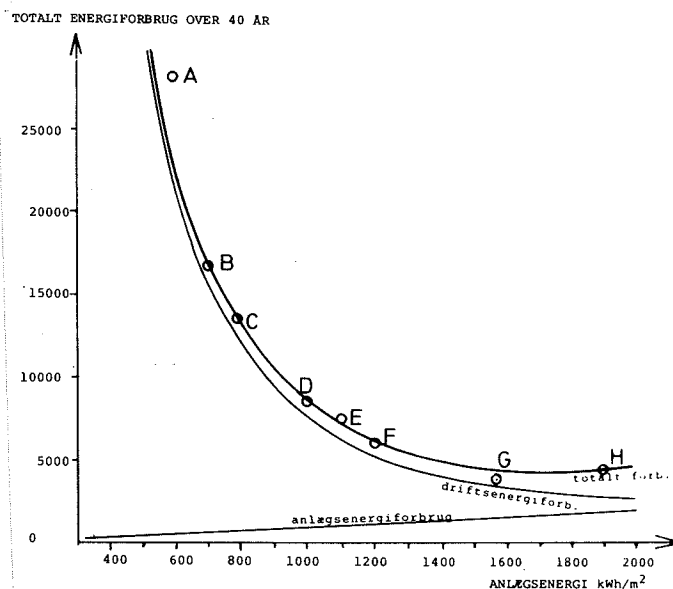
*) Elektricitetsforbruget omregnet til energiforbrug efter retningslinierne i afsnit 3.1.2.

På landsbasis, d.v.s. en årlig byggeaktivitet af 6.000.000 m² boliger, svarer tallene i tabel 3.0.1 til et årligt energiforbrug gennem importerede byggematerialer på 2.1 TWh, et årligt energiforbrug i bygge- og anlægssektoren og den indirekte tilknyttede produktions- og transportvirksomhed på 5,7 TWh og endelig et årligt driftsforbrug i boligerne på 70 TWh.

Sagt med andre ord: den årlige boligbyggeaktivitet beslaglægger, direkte og indirekte, en energimængde, der svarer til 11% af det årlige energiforbrug til drift og opvarmning af vore boliger.

Idet det må forventes, at driftsenergiforbruget i fremtiden vil formindskes ganske væsentligt, og da dette kun kan ske ved en yderligere forøgelse af energiforbruget til fremstilling og efterisolering af vor boligmasse, er det nu nødvendigt også at beskæftige sig med energiforbruget til fremstillingen af boligen.

Et udtryk herfor er den udvikling, der afspejler sig i figur 3.0.1.



Figur 3.0.1:

Sammenhæng mellem totalt energiforbrug over 40 år og anlægsenergiforbruget for forskellige bygninger. Kilde [79.1].

- A: Boblehal, enkeltlug
- B: Boblehal, termolug
- C: Enfamiliehus, 1972
- D: Enfamiliehus, 1979
- E: Lavenergitypehus, 1979
- F: DTH-Nulenergihus m. konventionel opvarmning
- G: Lavenergihus F i Hjortekær
- H: DTH-Nulenergihus m. solfanger-system.

3.0.1 Usikkerhed

Det har været et stort datamateriale, som har skullet samles sammen på en meget kort tid.

Grundmaterialet består dels af angivelser i udsendte spørgeskemaer fra 1977-78 til danske firmaer, dels anvendtes de bearbejdede data fra [76.0], som er fremkommet ved meget tilbundsgående undersøgelser i 1974, og endelig er der udvalgt data fra udenlandske og enkelte danske kilder, idet de kilder, der har samme forudsætninger som denne undersøgelse, primært er anvendt.

Det er klart, at både tidsforskydningen mellem de forskellige kilder og forskellige landes teknologi gør, at datamaterialet må vurderes med forsigtighed.

Der er søgt at gengive danske forhold i så stor udstrækning som mulig, selv om den generelt anlagte betragtningsmåde er global.

Dette er gjort af hensyn til, at resultatet eventuelt kan anvendes til andre, måske mere nationalt betonedede, opgaver.

Usikkerheden i data er søgt tilpasset dataernes betydning, således at usikkerheden for udbredt anvendte byggematerialer er forsøgt gjort små, mens usikkerheden for sjældent anvendte materialer er større, op til $\pm 25\%$.

Da de præcise data ikke kendes, er det meget svært at give en vurdering af den totale usikkerheds størrelse, men som et bedste skøn kan usikkerheden - svarende til en samlet beregning på en bygning - anslås til $\pm 10\%$.

I afsnit 3.3 - 3.11 er datamaterialet belyst og kommenteret med angivelse af de benyttede kildematerialer.

Med hensyn til de anvendte spørgeskemaer henvises til afsnit 3.12.

3.1 METODE

Det har vist sig, at den største del af energiforbruget i fremstillingsprocessen af boliger er et indirekte forbrug, som tilføres gennem de anvendte materialer.

Fra mange sider er der gjort forsøg på at bestemme energiforbruget i materialeproduktionen, men indtil nu ofte ud fra meget forskellige forudsætninger, og deraf store indbyrdes afvigelser.

I det følgende skal vises et eksempel på den i denne analyse benyttede fremgangsmåde.

Hvor meget energi medgår der til fremstilling af teglsten?

Dette spørgsmål er der forskellige svar på, alt afhængig af, hvor omfangsrigt et system, man medtager i sin betragtning, hvilke betingelser der ligger til grund for produktionen og hvilket energiforbrug, man taler om.

Systemets grænser regnes at følge angivelserne i [80.0]afsn. 0, som kort skal resumeres:

- a) Ved energiforbrug forstås forbrug af kemisk bundet energi i form af olieprodukter, kul eller andre primære brændselsformer. Brændslets energiværdi defineres som dets nedre brændværdi.
- b) Råmaterialer, som samtidig har en potentiel brændsværdi, f.eks. råolie eller træ, tillægges kun en energiværdi, når råmaterialet bruges som brændsel i processer eller lignende, men ikke når det indgår i det færdige materiale.
- c) Til energiforbruget medregnes bidragene
 - DF - det direkte energiforbrug i produktionen
 - RF - det skjulte energiforbrug i de forbrugte råmaterialer
 - KF - energiforbruget til opvarmning og komfort i produktions- og administrationslokaler
 - TF - energiforbruget til transport (distribution) af det færdige materiale

AF - det skjulte energiforbrug i produktionsmateriellet som må afskrives over produktionen

MF - ekstra energiforbrug til sikring af miljø på arbejdspladsen og i angivelserne

SSF = det samlede specifikke energiforbrug
$$= \frac{(DF + RF + KF + TF + AF + MF)}{\text{produktionsmængden}}$$

Det akkumulerede specifikke energiforbrug for et materiale er da lig med

$$\sum_i RF_i + (DF + KF + AF + MF + TF)$$

hvor

$$RF_i = \sum_i X_i \cdot SSF_i$$

idet X_i betegner råmaterialeforbruget for materiale nr. "i", og der ingår "i" forskellige råmaterialer i slutmaterialet. (Se i øvrigt afsnit 3.9.0).

Der er altså to uafklarede forudsætninger for et præcist svar.

Betingelserne for produktionen er f.eks. råvarens egenskaber, den anvendte produktionsteknologi og slutproduktets egenskaber.

Disse parametre kan betyde, at man i den danske produktion af teglsten har en afvigelse i energiforbruget til fremstilling af teglsten på $\pm 30\%$ og i forhold til udlandet en afvigelse på op til 50-60%.

Energiforbruget er imidlertid også tidsbestemt og ændrer sig løbende med den teknologiske og økonomiske udvikling.

Ligeledes er energiforbruget geografisk bestemt.

Det energiforbrug, man taler om kan være det aktuelle energiforbrug på et specielt teglværk, det gennemsnitlige forbrug i Danmark, det minimale forbrug i en bestemt proces eller det kan være det forbrug, der termodynamisk begrundet er nødvendigt til fremstillingen.

For at skabe klarhed over, hvad man taler om, vælges det at anvende 3 betragtningsmåder, d.v.s. 3 forskellige "energiforbrug":

ASF: Det aktuelle specifikke energiforbrug (SSF) i den industridel, der i dag leverer til byggesektoren, d.v.s. i tilfælde af import også den udenlandske for det betragtede materiale

MSF: Det minimale specifikke energiforbrug i den industridel, der i dag leverer til byggesektoren for det betragtede materiale. Dette er enten ASF fratrasket energitabene eller i de tilfælde, hvor der findes alternative produktionsmetoder kan det være det lavest kendte ASF for disse forskellige metoder.

FSF: Det fysisk-teoretiske laveste specifikke energiforbrug, uden hensyntagen til de i [80.0] definerede forbrug: KF, RF, AF og MF, som kan beregnes ud fra entalpiændringen, d.v.s. forskellen i fri energi ΔG for isolerede processer.

Disse tre størrelser skal give det sammenligningsgrundlag, der er mest muligt objektivt.

Hvis ASF-værdierne skal sammenlignes med de i IFIAS-rapporten [74.1] beskrevne GER-værdier skal tallene tillægges materialernes nedre brændværdi og summen skal så multipliceres med en faktor, der tager hensyn til forskellen mellem øvre og nedre brændværdi og energiforbruget til fremstilling af brændsel. Denne faktor findes af tabel 3.1.4.1.

Faren ved kun at medtage ASF er, at en eventuel vurdering af materialerne og deres skjulte energiforbrug indbyrdes vil have meget tidsbegrænset gyldighed, idet der netop i disse år foregår store bestræbelser for at mindske ASF både for den eksisterende teknologi og ved udvikling af ny energibesparende teknologi, som har begrænsningen FSF og MSF.

Man får ved denne betragtningsmåde mulighed for dels at vurdere de potentielle energibesparelsesmuligheder for hvert materiale og ved valg af forskellige materialer frem for andre under bestemte funktionsforudsætninger.

Som det vil fremgå af den følgende halvsnes sider, er analysemetoden ret prætentios i sit omfang. Det har da heller ikke været muligt at gennemføre beregningen af størrelserne MSF og FSF med samme nøjagtighed for alle materialetyper, selv om FSF-værdierne skulle være de bedst fastlagte af fysiske grunde. Det har af tidsmæssige grunde kun været muligt at gå grundigt ind i processerne ved de mest anvendte materialer.

Det må derfor understreges, at de beregnede værdier for de materialer, der forekommer i mindre betydelige mængder i almindelige konstruktioner, ikke har samme nøjagtighedsniveau - $\pm 10\%$ - som angivet i afsnit 3.0.1.

Dette er særlig udtalt for værdierne MSF og FSF for de nævnte materialetyper.

De beregnede tal må kun med varsomhed benyttes til energianalyser af konstruktioner med utraditionelle materialer.

3.1.1 Beregningsmetode for ASF og MSF og FSF

Til hjælp i disse udregninger og registreringer anvendes et skema, figur 3.1.1, hvor alle de forskellige bidrag bliver tilgodeset. Skemaet er en videreudvikling af de i [77.1] angivne, der beror på et forslag til standard-metoder for energiundersøgelser.

De oplysninger, der ligger til grund for udarbejdelsen af et sådant skema er angivelser af firmaets årlige forbrug af brændsel, fjernvarme og elektricitet, mængder af råmaterialer og produktionsmængden, her 124 MWh el og 554 MWh olie.

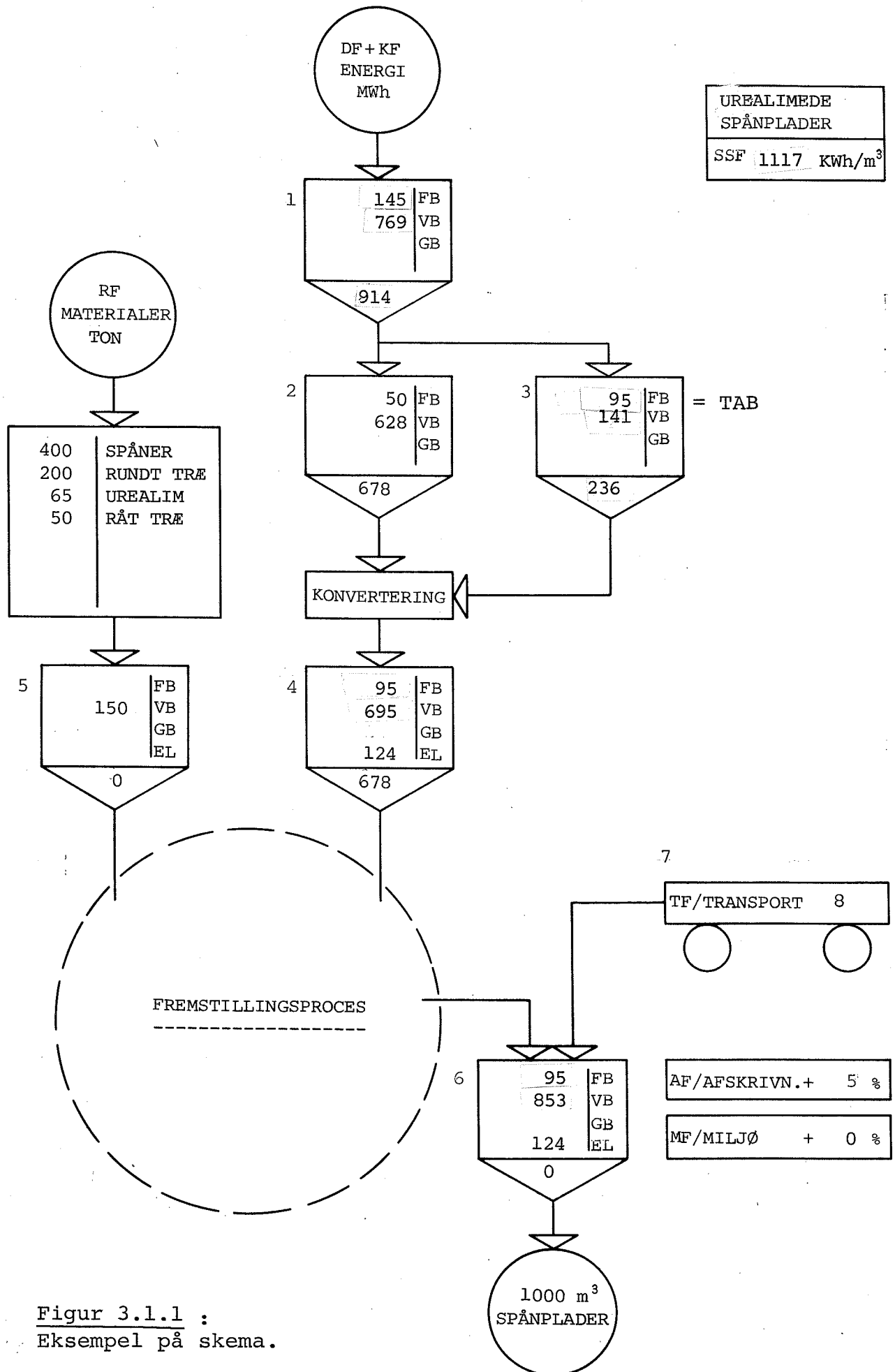
Elektricitetsforbruget omregnes ved hjælp af multiplikatoren for elektricitet, 2.9, til et tab (3) og omformet energi, som adderet til olieforbruget opføres i (2). (1) er da summen af (2) og (3). I (4) opføres de aktuelle forbrug af brændselsenergi plus konverteringstabet, således at summen af tallene i firkanterne altid angiver det totale forbrug. Tallene i trekantene angiver da den energimængde, der endnu er til rådighed på det givne trin.

Tallene i 5 kommer fra andre skemaer og alle bidrag plus transportbidraget summeres i 6.

Det specifikke energiforbrug SSF bestemmes da som summen af bidragene fra 5 og 7 samt bidraget fra 1 multipliceret med (1+ afskrivningen), altså $150 + 8 + 1,05 \cdot 827 = 1035 \text{ MWh}/1000 \text{ m}^3 = 1035 \text{ kWh}/\text{m}^3$.

Som forkortelser for de forskellige brændselsarter anvendes:

- FB - fast brændsel - kul, koksm.m.
- VB - væskeformigt brændsel - olie, benzin
- GB - gasformigt brændsel - bygas, naturgas m.m.
- EL - elektricitet
- FJ - fjernvarme eller kraftvarme



Figur 3.1.1 :
Eksempel på skema.

Et eksempel:

Fremstilling af spånplader:

[77.2] angiver for en dansk spånpladefabrik pr. 1000 m³ produktion:

olieforbrug	554 MWh
elforbrug	124 MWh

råmaterialer:

400 ton spåner
200 ton rundt træ
65 ton urealim
50 ton rådt træ

Elforbruget er fremkommet som et kulforbrug svarende til 50 MWh og et olieforbrug svarende til 74 MWh og et konverteringstab på 95 MWh kul og 141 MWh olie.

D.v.s., at der er brugt ialt (50 + 95) MWh kul, (74 + 141 + 554) MWh olie - hvoraf de 50 MWh kul og 74 MWh olie konverteres til elektricitet.

Til råmaterialerne forbruges næsten kun olie, her regnet ud til 150 MWh. Transportforbruget udregnes efter retningslinier angivet i næste afsnit til 8 MWh. Afskrivningen på produktionsapparatet skønnes til 5%, mens miljøforbruget her er inkluderet i DF + KF. □

Når MSF, det minimale forbrug, skal beregnes kan samme fremgangsmåde benyttes, blot anvendes der andre konverteringsfaktorer og andre tal for procesenergiforbrugene.

Dette tal er fastlagt ved at fradrage de genvindelige energitab, der optræder, hvor størrelsen af tabene har kunnet bestemmes. Genvindingsgraden er skønnet ud fra litteraturens angivelser eller samtaler med virksomheder. I de tilfælde, hvor sådanne oplysninger ikke har kunnet skaffes, er MSF fastlagt, som den mindst energikrævende fremstillingsmetode beskrevet i den gennemgående litteratur.

Ved bestemmelse af FSF, det teoretisk minimale forbrug, er anvendt angivelser af den specifikke entalpiændring ΔH , for produktionsprocesserne ved 20°C, hvilket svarer til ændringen i fri energi ΔG for energiisolerede systemer. I praksis vil dette svare til, at mange produktionsprocesser skulle foregå i højisolerede rum og over uendelig lang tid.

I de tilfælde hvor MSF og FSF ikke har kunnet bestemmes er de fastlagt som henholdsvis 0.5 og 0.1 · ASF, hvilket har vist sig at være omtrentlige forhold for næsten alle materialer.

Dette har været nødvendigt for en hel del sjældent anvendte materialer.

3.1.2 TRANSPORTENS ENERGIFORBRUG

Den del af transporten, der beskrives i dette afsnit er den externe godstransport, som foregår uden for produktionsområderne og byggepladserne.

I bygge- og anlægssektoren og de tilknyttede industrier, foregår transporten i dag i overvejende grad mekaniseret ved hjælp af dieseldrevne lastbiler, jernbane eller skibe af forskellig størrelse.

Transporten optræder utallige steder i byggeprocessen og kan have afgørende betydning for energiforbruget i meget energiekstensive dele af byggeriet, som f.eks. råstofudvinding. I de fleste tilfælde udgør transportenergiforbruget ikke mere end ca. 10% af de samlede forbrug.

Godstransport

Godstransport, der er det væsentligste transportarbejde, måles som et produkt af transportlængde og transportvægt, her med enheden ton $\times$ km.

I det følgende betragtes størrelsen af energiforbrug pr. transportarbejde i enheden kWh/ton $\times$ km, det specifikke energiforbrug i godstransporten.

Det specifikke forbrug afhænger af transportmidlet og dets effektivitet, men først og fremmest af lastudnyttelsen. Lastudnyttelsen er meget svingende i godstransporten, lige fra nogle få % for transporten af en glemt reservedel til 100% for intensiv transport inden for fragtskibsbranchen. For en stor del af godstransporten gælder imidlertid, at man fylder lasten helt op den ene vej og kører tom hjem den anden vej. Dette gælder især for den leverancetransport, der foregår med lastbil.

Til grund for transportarbejdets sammenhæng med energiforbruget ligger de fysiske begrænsninger for dieselmotorer, gnidningsmodstanden og dens afhængighed af hastigheden af transportmidlet. Begrænsningerne for motorernes udnyttelse af den kemisk bundne energi i den såkaldte dieselpocess kan beskrives v.h.a. termodynamikkens love, men i praksis vil forbrændingen i motorerne aldrig være ideel, se [76.2].

Den øvre virkningsgrad for en dieselmotor ligger ved 40%, men i praksis udnyttes sjældent mere end 20%.

Sammenhængen mellem hastighed og det specifikke energiforbrug hænger sammen med, at effektpræstationen W er lig hastigheden v gange luftmodstanden k . Luftmodstanden $k = 1/2 \rho v^2 A c$, hvor

ρ = luftens rumvægt

A = frontarealet af transportmidlet

c = formfaktor for transportmidlet

d.v.s.

$$W = \frac{1}{2} \rho v^3 A c \text{ og}$$

energiforbruget $E = Wt = \frac{1}{2} \rho v^3 A c t = \frac{1}{2} \rho v^2 A c \ell$, hvor ℓ = den tilbagelagte vej-længde og t = tidsrummet, der betragtes, hvor fartøjet har en konstant hastighed.

$$\text{Det specifikke forbrug } \frac{E}{M\ell} = \frac{1}{2} \rho v^2 \frac{A}{M} c.$$

For konstant last ses, at det specifikke forbrug er proportionalt med $v^2 A c$.

Formfaktoren ligger normalt mellem 0,25 og 0,50, således at den dominerende faktor bliver hastigheden.

For skibe gælder en lignende sammenhæng,

hvor $W = v^3 D^{2/3}/A$, hvor

$D^{2/3}$ = displacementet og

A = formfaktoren 150-400

Da hastigheden af transportmidlerne varierer meget, kan man ikke sige noget enkelt om energiforbruget ud fra ovenstående lovmæssigheder.

Statistiske registreringer af det specifikke energiforbrug ved godstransport er det ret sparsomt med, men som retningslinier angives der værdier som vist i tabel 3.1.2.1. Af disse værdier ses det at energiforbruget afhænger betydeligt af lastens størrelse.

	[74.3] lastevne t	[74.3] % udnyttelse	[74.3] kWh/t · km	[76.2] kWh/t · km	[76.2] minimum- forbrug kWh/t · km
Varebil	1	30	3.8		
Lastbil	5	50	0.9	} 0.61	0.02-0.04
	38	50	0.25		
Godstog	670	32	0.15	0.13	0.004
Skib (coaster)	1000	50	0.17	} 0.14	0.004
(fragt)	8000	50	0.16		
(tanker)	34000	50	0.06		
(supertanker)	250000	50	0.02		
Fly DC-9-33	15.5	54	4.95	(9.15)	0.07
Pipe-line			0.07	0.08	

Tabel 3.1.2.1:

Energiforbrug pr. transportarbejde for godstransportens forskellige transportmidler. De givne udnyttelsesgrader af lasteevnen, gældende for tur/retur transport, er basis for beregning af de specifikke energiforbrug i kolonne 3-5.

Kilde [74.3] og [76.2].

I undersøgelser, hvor transportenergiforbruget er det væsentlige, er det nødvendigt at tage højde for denne faktor ved at lade det specifikke energiforbrug være afhængig af lasteevnen og måske også af fartøjernes hastighed.

Det vil imidlertid føre for vidt i denne undersøgelse, hvor en noget simplere metode er påkrævet.

Angivelserne fra [74.3] og [76.2] er stort set enslydende.

Det vælges at benytte flg. tal for det specifikke forbrug:

Lastbil 0,60 kWh/ton · km

Godstog 0,15 kWh/ton · km

Skib 0,15 kWh/ton · km

Fly og pipe-line forekommer meget sjældent som transportmiddel i denne sammenhæng.

Naturens love

Som et kuriosum vises en figur fra [76.2], figur 3.1.2.1, der viser det minimale specifikke energiforbrug for dyrenes og maskinernes transport, afhængigt af legemesvægten.

Det ses, at der for hver gruppe af dyr er en tilnærmet retlinet sammenhæng i det dobbeltlogaritmiske koordinatsystem, som kan omskrives til en formel af formen

$$E' = a M^{-b}$$

hvor E' er det specifikke energiforbrug og M er legemesvægten. Figuren er grundlag for den sidste kolonne i tabel 3.1.2.1.

Gøres samme optegnelse af tallene fra kolonne 3 i tabel 3.1.2.1, er sammenhængen ikke helt så udpræget. De indtegnede linier i figur 3.1.2.2 repræsenterer linierne

landtransport (100% udn.)	$E' = 0,1 M^{-0,51}$
vand " (100% ")	$E' = 0,2 M^{-0,41}$
land " (50% ")	$E' = 0,2 M^{-0,51}$
vand " (50% ")	$E' = 0,3 M^{-0,51}$

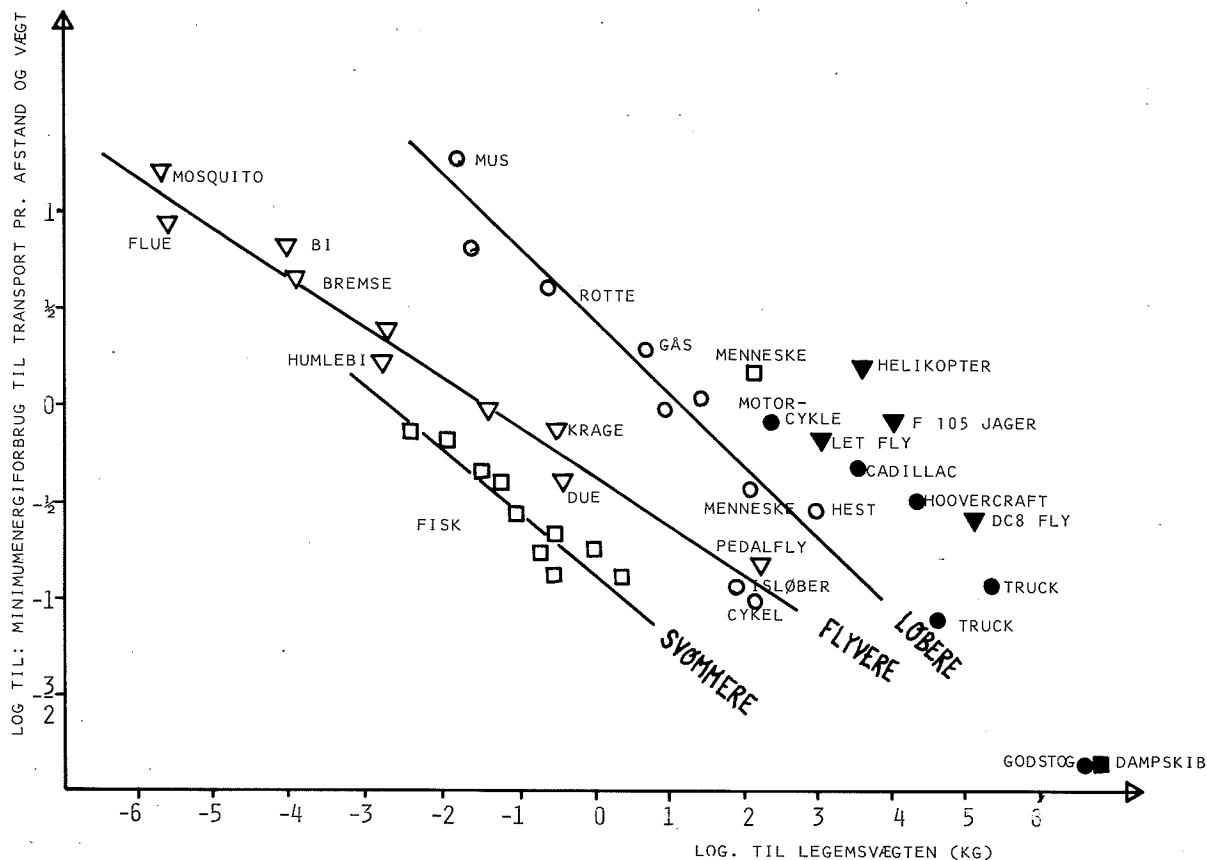
$E' = \text{kg olie/km} \cdot \text{ton}$, $M = \text{ton}$.

Disse formler er imidlertid ikke tilstrækkeligt efterviste og kan ikke bruges i den sammenhæng, men kurverne viser tendenserne i sammenhæng mellem energiforbrug og transportmidlets lasteevne.

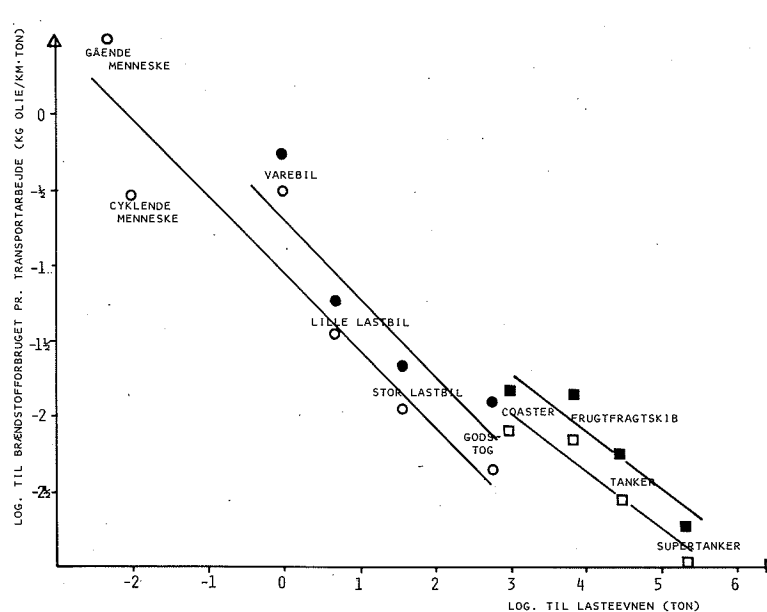
Transportarbejde

Transportarbejdet, der skal udføres i de forskellige trin af byggeprocessen og i leverance-industrien er belyst i en rapport fra t-ATV, ATV gruppens trafikforskningsgruppe [77.1].

Den giver en modelopstilling, baseret på statistiske oplysninger af industriens godstransport i form af et såkaldt modal-split, hvor transportarbejdet i ton · km er fordelt på de tre transportmåder: skib, jernbane og lastbil. Desuden er den gennemsnitlige turlængde angivet.



Figur 3.1.2.1:
Minimum specifikt energiforbrug som funktion af
egenvægten for transportarbejde.
Kilde [76.2].



Figur 3.1.2.2:
Det specifikke energiforbrug for transportar-
bejde som funktion af transportmateriellets las-
teevne.
Mørke signaturer : 50% udnyttelse
Lyse signaturer : 100% udnyttelse

En sammenstilling af kildens forskellige tabeller kan f.eks. se således ud:

Tur typer	mængder	længde	Transport			
			arb.	bil	bane	skib
Forarbejdet kalk	mio t	km	mio t.km	mio t	mio t	mio t
Samlet/samlet						
national	0.018	221.0	3.98	-	-	0.018
Samlet/spredt						
interregional	0.117	105.5	12.34	0.102	0.015	-
eksport	(0.015)					(0.015)
Ialt	0.135	150.8	16.32	0.102	0.015	0.018

Tabel 3.1.2.2:

Skema over transportarbejdets fordeling for forarbejdet kalk.

Dette skema kan benyttes til at udregne transportarbejdet ved distributionen af forarbejdet kalk.

Distributionen af 1 tons forarbejdet kalk skal tillægges følgende energiforbrug, jvf. side 21:

$$\begin{aligned}
 \text{bil} &: 0.6 \cdot (0.102/0.135) \cdot 105.5 = 47.8 \text{ kWh} \\
 \text{bane} &: 0.15 \cdot (0.015/0.135) \cdot 105.5 = 1.8 \text{ kWh} \\
 \text{skib} &: 0.15 \cdot (0.018/0.135) \cdot 221 = 4.4 \text{ kWh} \\
 \text{Ialt} & \quad \quad \quad 54.0 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Disse modalsplittabeller ligger til grund for det indenlandske transportarbejdes beregning.

Er der tale om import af varer sker transportarbejdet hovedsageligt med bane og skib og det tillades at skønne afstande for transporten.

Ved at tilknytte transportenergiforbruget til det færdige produkt, råmateriale eller mellemprodukt, tages der hensyn til de væsentligste transportforbrug, der optræder.

Det sikres dermed, at godstransportarbejdet inkluderes efter ethvert fremstillingstrin, men det må påpeges, at det kun er et groft skøn på det virkelige transportarbejde. Den væsentligste usikkerhed hidrører fra fastsættelsen af de specifikke energiforbrug for de tre transportmidler, som kan være ret betydelig.

3.1.3 Konvertering

Ved omsætning af kemisk bundet energi regnes der med den nedre brændværdi, og der anvendes for forskellige brændselsarter følgende værdier:

Rumvægt kg/n m ³	Brændsel	Nedre brændværdi kWh/ton	kWh/n m ³
750	Benzin	12150	9100
780	Petroleum	11850	9250
890	Råolie	11150	9900
840	Gas-,dieselolie	11850	9950
920	svær fuelolie	11450	10550
(750)	kul	8100	6100
450	koks	8050	3620
465	træ	3850	1800
170	træspåner	3600	610
	naturgas		10400
	bygas		4400
1.86	kosangas	12900	24000
1.99	propan	13050	25950
0.71	metan	13850	9800
2.67	butan	12650	33850
1.16	svejsegas	13500	15650

Når man skal regne sig tilbage til forbruget af kemisk bundet energi i form af olieprodukter eller kul, må de konstaterede energiforbrug i form af sekundære og tertiære energibærere multipliceres med en faktor, der tager hensyn til tab i energiformningsprocesserne, generelt betegnet konverteringen.

Der er for beregning af ASF-værdierne benyttet samme faktorer, som i [80.0], mens der for beregning af MSF er skønnet værdier udfra fordelingen af de uundgåelige og de genvindelige konverteringstab.

Med hensyn til FSF er der ikke regnet med nogen form for konverteringstab.

	ASF	MSF	FSF
elektricitet	2.90	2.25	1.00
kraftvarme	1.45	1.30	1.00
fjernvarme	1.45	1.30	1.00
koks	1.13	1.03	1.00
bygas	1.11	1.07	1.00

Tabel 3.1.3.2:

Konverteringsmultiplikatorer, som er benyttet i denne analyse.

Som illustration for disse tal skal her gennemgås forholdene for el/kraftvarmeproduktionen.

Af Dansk Kedelforening og DEFU's årlige oversigt over energiforbruget i Danmark kan de repræsentative værdier for den totale nyttevirkning i de danske elværker beregnes.

I figur 3.13.1 er disse nyttevirksomheder for energi an forbruger i årene 1974-78 tegnet op.

I den gældende energiplan for Danmark angives desuden, at man i 1985 vil have en nyttevirkning af værk på 57%, hvilket svarer til 49% af forbruget.

Ved at vægte elektricitet og kraftvarme lige, kan man således finde en multiplikator på grundlag af den totale virkningsgrad for 1978 på 2.52.

Elektriciteten og kraftvarmen er imidlertid ikke lige højværdige energiformer til alle formål, og specielt ikke til industrielle processer.

For beregning af MSF-værdierne vil en fastsættelse af el-multiplikatoren skulle baseres på skøn over udnyttelsen af kraftværkernes spildvarme.

Det vælges at benytte samme metode som gældende for ASF-værdierne, idet følgende forudsætninger indføres:

- kraftvarmeproduktionen an forbruger, B, er 1.5 gange elproduktionen an forbruger, A.
- den totale nyttevirkning an forbruger er 0.60 ved fuldt udbygget kraftvarmekapacitet

Følgende ligning skal da være opfyldt

$$A \cdot X + B \cdot 1.30 = 1.67 \cdot (A + B)$$

eller

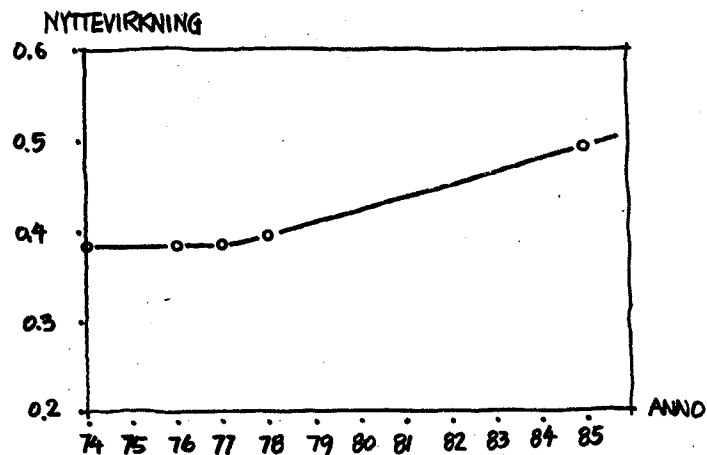
$$X = 1.67 + 0.37 \cdot \frac{B}{A} = 2.23 \sim 2.25$$

Til forudsætningerne skal bemærkes, at man i den gældende energiplan for Danmark, som tidligere nævnt, kalkulerer med en økonomisk udnyttelse af kraftvarmen, svarende til en total nyttevirkning på 0.49.

Man må formode, at en energiøkonomisk udnyttelse vil svare til en højere total nyttevirkning.

Med hensyn til forholdet B/A, nærmer kraftproduktionen i det københavnske område sig en fuldt udbygget kraftvarmeproduktion.

I 1978 var forholdet mellem B og A for dette område 1.12.



Figur 3.1.3.1:

Udviklingen i kraftværkernes totale nyttevirkning efter 1974.

Kraftværkerne benytter sig da af en vægtning, hvor kraftvarmen anses som et spildprodukt. I denne metode ækvivaleres kraftvarmeproduktionen med den mængde elektricitet, der kunne være produceret ekstra, hvis hele damptrykket var blevet udnyttet til elproduktion.

Den samlede fiktive elproduktion er så grundlag for en beregning af nyttevirksomheden af elproduktionen alene og bliver brugt til prisfastsættelsen.

Derved bliver nyttevirksomheden for kraftvarmeproduktionen imidlertid mindre end 1.0, hvilket er uacceptabelt i visse situationer.

En tredje metode vil være at tillægge kraftvarmen en fiktiv nyttevirksomhed, som svarer til nyttevirksomheden i almindelig fjernvarmeproduktion.

Dette kan begrundes med, at fjernvarme og kraftvarme i alle henseender er ligeværdige energiformer.

Ved hjælp af en sådan fiktiv nyttevirksomhed kan nyttevirksomheden for elproduktionen beregnes, idet den totale nyttevirksomhed er givet.

I denne analyse er den sidste metode valgt, som den mest repræsentative for danske forhold, idet der ikke er taget hensyn til importeret elektricitet.

TJ	Nettoproduktion af værk an forbruger		Multiplikator	Brændsels- forbrug
el kraftvarme	68965	62070	X	179370
	26923	21538	1.45	31230
	95890	83610	2.52	210600

$$X = \frac{179370}{62070} = 2.89 \sim 2.9$$

Tabel 3.1.3.3:

Beregning af multiplikator for elektricitet.
Kilde [79.0].

3.1.4 Beregning af Gross Energy Requirement

I det tidligere afsnit er beskrevet, hvordan man ved at konvertere de primære brændselsarter - olie og kul m.m. - må regne med bestemte energitab.

I beslægtede analyser til denne rapport benyttes som tidligere nævnt ofte størrelsen Gross Energy Requirement - GER - som mål for energiindholdet af en bestemt ting.

Der er tre faktorer, der udgør forskellen mellem de i denne rapport benyttede værdier for energiindhold - ASF - og GER-værdier:

- a) Ved beregning af ASF benyttes brændslets nedre brændværdi, mens der ved beregning af GER-værdier benyttes dets øvre brændværdi
- b) Ved beregning af GER tages der yderligere hensyn til den energimængde, der kræves til at fremstille brændslet
- c) Ved beregning af GER betragtes alle former for potentielle brændsler, også den del, der bindes i materialet som råmateriale, som energiforbrug, mens dette ved beregning af ASF ikke medregnes

Det kan til visse formål være mere hensigtsmæssigt at benytte GER-værdier for materialernes energiforbrug, bl.a. når man vil forsøge at bestemme f.eks. olieprisstigningerne indflydelse på materialepriserne.

Der skal derfor kort beskrives, hvorledes man kan omregne de givne ASF-værdier til GER-værdier.

Forskellen i øvre og nedre brændværdi hidrører fra den vanddampmængde, der opstår under forbrændingen, især ved brintheholdige brændselsarter. Varmeindholdet i denne vanddamp og dens fortætningsvarme kan kun nyttiggøres med en ret speciel forbrændingsproces og regnes derfor ikke med i den nedre brændværdi, men altså i den øvre. Forskellen er vist i tabel 3.1.4.1, som multiplikatorer, f_1 .

Energiforbruget til fremstilling af brændsel er der delvist taget højde for under beskrivelsen af konverteringsprocesserne.

Den del, der ikke er taget højde for, er energiforbruget til udvinding, transport til Danmark, raffinering af råolie og til indenlandsk transport.

I [77.0] er der gjort et omfattende arbejde for at belyse disse aspekter og slutresultaterne er vist i tabel 3.1.4.1, som multiplikatorer, f_2 , i forhold til ASF-værdier.

Endelig er der den væsentligste faktor, nemlig råmaterialets potentielle brændselsværdi.

Et udtryk herfor er materialets brændværdi, taget som nedre brændværdi, H_n .

GER kan da beregnes ved hjælp af ASF ved først at bestemme det dominerende brændsel i forbindelse med produktionen, og derefter benytte multiplikatorerne for dette brændsel i følgende ligning

$$GER = (ASF + H_n) \cdot f_1 \cdot f_2$$

Dette er gjort i afsnit 3.14, hvor der for potentielle brændsler er medregnet olie, gas og kul.

	$f_1 = \frac{H_\phi - H_n}{H_n}$	f_2	$f_1 \cdot f_2$
fuel-olie	1.06	1.124	1.19
gasolie	1.069	1.144	1.22
benzin	1.08	1.168	1.26
naturgas	1.10	1.062	1.17
bygas	1.109	1.144	1.27
kosangas	1.081	~1.12	1.21
kul	1.106	1.018	1.13
koks	1.125	1.018	1.15

Tabel 3.1.4.1:

Multiplikatorer for omsætning mellem ASF- og GER-værdier.

3.2. Systematik

Som det skal ses, er den inddeling af materialerne, som er gjort i Generelle beskrivelser 1973 (GB73) på grundlag af SfB-systemet, meget anvendelig i de senere beregninger.

På visse punkter er SfB-inddelingen dog ikke detaljeret nok, mens den på andre punkter er for detaljeret. Til formålet er der derfor gjort ændringer således, at der opnås et overskueligt antal materialer, 12 x 8. Den oprindelige og den ændrede SfB-kode er gengivet i tabel 3.2.2.2 og 3.2.2.3.

Då det har været ønsket så vidt muligt at holde fast ved den oprindelige SfB-kode, vil en gennemgang af materialerne og deres specifikke energiforbrug efter en logisk rækkefølge støde på vanskeligheder. Den naturlige rækkefølge starter ved råstofferne og ender ved de højest forarbejdede produkter, der er sammensat af mange råstoffer.

SfB-koden er tildels opbygget på dette grundlag. For at opnå en mere logisk rækkefølge i det beskrivende afsnit, vælges at bibeholde den ændrede SfB-kode inden for hver materialegruppe, mens rækkefølgen af materialegrupperne søges tilpasset den ovenfor beskrevne opbygning, hvilket ikke kræver store ændringer.

Afsnit	Materialegruppe	nr. i den ændrede SfB-tavle
3.3	Råstoffer	(1-10) + (81-90)
3.4	Frisk beton	(91-100)
3.5	Teglsten	(21-30)
3.6	Metaller	(31-40)
3.7	Træ	(41-60)
3.8	Glas + mineralske mat.	(61-70)
3.9	Beton, færdig produkter	(11-20)
3.10	Plast	(71-80)
3.11	Andet	(101-120)
3.12	Spørgeskema	-

Tabel 3.2.1.:
Oversigt over afsnittenes indhold.

Tabel 3.2.2. efter GB.73

e	Natursten	j	Organisk materiale
e0	Alment	j0	Alment
e1	Granit og andre eruptiver	j1	Træfiber
e2	Marmor	j2	Papir og pap
e3	Andre kalksten	j3	Plantefiber, excl. j1
e4	Sandsten	j5	Bark, kork
e5	Skifer	j6	Animalsk fiber, læder
e9	Øvrigt og diverse	j7	Træspån
		j8	Træuld, træbeton
		j9	Øvrigt og diverse
f	Afbundet mørtel		
f0	Alment	m	Uorganisk fibermateriale
f1	Kalkmørtel	m0	Alment
f2	Beton	m1	Mineraluld
f3	Terrazzo	m2	Asbestuld og -fiber
f4	Porebeton	m9	Øvrigt og diverse
f5	Letskornsbeton		
f6	Asbestcement	n	Afbundet asfalt, gummi, plast
f7	Gipsmørtel	n0	Alment
f8	Magnesitmørtel	n1	Asfalt
f9	Øvrigt og diverse	n2	Imprægneret pap og filt
		n4	Linoleum
g	Ler og keramisk materiale	n5	Gummi
g0	Alment	n6	Plast, syntetisk fiber
g1	Ler, ubrændt	n7	Celleplast, skumplast
g2	Tegl, uglaseret	n9	Øvrigt og diverse
g3	Tegl, glaseret og klinkbrædt		
g6	Ildfast gods	o	Glas
g9	Øvrigt og diverse	o0	Alment
		o1	Trukket glas
h	Metal	o2	Støbt formglas
h0	Alment	o3	Støbt planglas
h1	Støbejern	o4	Sikkerhedsglas
h2	Stål	o5	Isolerende glas
h3	Stållegeringer. Rustfri stål	o6	Uigennemsigtigt glas
h4	Aluminium, letmetallegeringer	o7	Skumglas
h5	Kobber	o8	Presglas
h6	Kobberlegeringer	o9	Øvrigt og diverse
h7	Zink		
h8	Bly	p	Fyldstof
h9	Øvrigt og diverse	p0	Alment
		p1	Naturmaterialer
i	Træ	p2	Tunge granulater
i0	Alment	p3	Lette granulater
i1	Tømmer	p4	Aske
i2	Nåletræ, excl. i1	p5	Spåner
i3	Løvtræ, excl. i2	p6	Pulver
i4	Lamineret træ, krydsfinér	p7	Fiberfyld
i5	Finér	p9	Øvrigt og diverse
i9	Øvrigt og diverse		

Tabel 3.2.2. (fortsat)

q Kalk, cement - uafbundet	t Fastgørelses- og fugemidler
q0 Alment	t0 Alment
q1 Kalk	t1 Svejsemidler
q2 Cement	t2 Loddemidler
q3 Blandede hydrauliske bindemidler	t3 Lim og klister
q4 Mørteler og beton	t4 Kit, fugemasser, mastic
q5 Terrazzomørtel o.lign.	t6 Fastgørelsesmidler
q6 Porebeton	t7 Beslag, isenkram
q7 Letkornsbeton	t9 Øvrigt og diverse
q9 Øvrigt og diverse	
r Gips- og magnesitmørtel - uafbundet	u Beskyttelses- og tilsætningsmidler
r0 Alment	u0 Alment
r1 Lermørtel	u1 Korrosionsbeskyttende midler
r2 Gips, gipsmørtel	u2 Tilsætningsmidler, tilslagsstoffer
r3 Magnesit, magnesitmørtel	u3 Råd- og svampebeskyttende midler
r4 Plastbindere, plastmørtel	u4 Brandhæmmende midler
r9 Øvrigt og diverse	u5 Polere-, hårde- og tætemidler
	u6 Vandafvisende midler
s Asfalt - uafbundet	u9 Øvrigt og diverse
s0 Alment	
s1 Asfaltmaterialer	v Malematerialer
s4 Asfaltmastic	v0 Alment
s5 Støbemasser med asfaltbinder	v9 Øvrigt og diverse
s9 Øvrigt og diverse	
t Fastgørelses- og fugemidler	w Hjælpemidler og diverse
t0 Alment	w0 Alment
t1 Svejsemidler	w1 Rustfjernere
t2 Loddemidler	w3 Brændsel
t3 Lim og klister	w4 Vand
t4 Kit, fugemasser, mastic	w5 Syrer og baser
t6 Fastgørelsesmidler	w6 Gødning og kunstgødning
t7 Beslag, isenkram	w7 Rense- og slibemidler
t9 Øvrigt og diverse	w9 Øvrigt og diverse
	x Komponenter
	Officiel specifikation for-
	ventes fra Sfb-bureauet.

Tabel 3.2.3. : Den ændrede SfB-tavle

e Natursten			i Træ - stænger		
e0	1	Alment	i0	41	Alment
e1	2	Granit og andre erupt.	i1	42	Tømmer
e2	3	Marmor	i2	43	Firhøvlet tømmer
e3	4	Andre kalksten	i3	44	Brædder ,lægter
e4	5	Sandsten	i4	45	Høvlede brædder
e5	6	Skifer	i5	46	Profilerede stænger
e6	7	---	i6	47	Imprægneret tømmer
e7	8	---	i7	48	Imprægneret firhøvlet træ
e8	9	---	i8	49	Lamineret træ
e9	10		i9	50	Parketstave, løvtræ
f Afbundet beton og mørtel			j Bygningsplader af træ og gips		
f0	11	Alment	j0	51	Alment
f1	12	Kalksandsten	j1	52	Træfiberplader
f2	13	Betonelementer	j2	53	Pap og papir
f3	14	Porebetonelementer	j3	54	Finerplader
f4	15	Porebetonblokke	j4	55	Træspånplader
f5	16	Letskornsbetonblokke	j5	56	Træbetonplader
f6	17	Asbestbeton	j6	57	Gipsplader
f7	18	Jernbeton	j7	58	Imprægnerede finerplader
f8	19	Letskornsbetonelementer	j8	59	Imprægnerede træfiberplader
f9	20	Øvrigt	j9	60	Øvrige bygningsplader
g Ler og keramisk materiale			m Glas- og mineralfibermaterialer		
g0	21	Alment	m0	61	Alment
g1	22	Ubrændt ler	m1	62	Mineraluld
g2	23	Gule teglsten	m2	63	Asbestuld og -fibre
g3	24	Røde teglsten	m3	64	Planglas
g4	25	Ildfaste teglsten	m4	65	Skumglas
g5	26	Tagsten af tegl	m5	66	Armeret glas
g6	27	Glaseret tegl	m6	67	Termoruder, 2 lag glas
g7	28	Teglør	m7	68	Termoruder, 3 lag glas
g8	29	Glaseret porcelæn	m8	69	Støbt glas
g9	30	Øvrige lermaterialer	m9	70	Hærdet glas
h Metaller			n Asfalt, gummi og plast		
h0	31	Alment	n0	71	Alment
h1	32	Valset stål	n1	72	Asfalt
h2	33	Støbejern	n2	73	Asfaltpap
h3	34	Svejset stål	n3	74	Syntetisk gummi
h4	35	Forzinket stål	n4	75	Polypropylen
h5	36	Kobber	n5	76	Polyvinylklorid
h6	37	Aluminium	n6	77	Polyethylen
h7	38	Zink	n7	78	Polystyren
h8	39	Bly	n8	79	Polyurethan
h9	40	Øvrige metaller	n9	80	Øvrige

Tabel 3.2.3. fortsat :

p Fyldstof

p0	81	Alment
p1	82	Almindelige naturmaterialer
p2	83	Sømaterialer
p3	84	Knust naturmateriale
p4	85	Knust bjergmateriale
p5	86	Exler-granulat
p6	87	Molergranulat
p7	88	Flyveaske
p8	89	Slaggmateriale
p9	90	Øvrigt fyldstof

q Uafbundet beton og - kalk

q0	91	Alment
q1	92	Kalk
q2	93	Cement
q3	94	Blandede hydr. bindemidler
q4	95	Mørtel
q5	96	Beton, in situ
q6	97	Beton, færdigblandet
q7	98	Letskornsbeton
q8	99	Gipsmørtel
q9	100	Øvrigt mørtelmateriale

t Fastgørelses- og fugemidler

t0	101	Alment
t1	102	Svejsemidler
t2	103	Kit
t3	104	Fugemasser
t4	105	Kunstharpikslime
t5	106	Epoxylime
t6	107	Bolte og beslag
t7	108	Skruer og søm
t8	109	----
t9	110	Øvrigt

u Beskyttelses- og vedligeholdelsesmidler

u0		Alment
u1	112	Korrosionsbeskyttende midl.
u2	113	Tilsætningsmidler
u3	114	Råd- og svampebeskyt.midl.
u4	115	Brandhæmmende midler
u5	116	Oliemaling
u6	117	Plastmaling
u7	118	Siliconemaling
u8	119	Cellulosemaling
u9	120	Øvrigt

3.2.1 Litteraturliste

- [48.0] "NEW METHODS OF HOUSE CONSTRUCTION"
National Building Studies,
Sp.Rep.No. 4, Ministry of Works,
His Majesty's Stationery Office,
England 1948.
- [74.0] FREJA 74
Institut 3A, Kunstakademiet,
Danmark 1974
- [74.1] "ENERGY ANALYSIS"
IFIAS-Workshop Report,
Report No. 6, Sverige 1974
- [74.2] Erik Reitzel:
"RÅHUS OG RÅSTOFFER"
DIF-pjece nr. 8, Danmark 1974.
Erik Reitzel, H.F. Mathiassen:
"ENERGI, BOLIGER, BYGGERI"
Fremad, Danmark 1975
- [74.3] Bent Elbek:
"ENERGI, ENERGI, ENERGIKRISE"
Munksgård, Danmark 1974
- [76.0] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976
- [76.1] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG, IKKE PUBLICEREDE
RAPPORTER"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976
- [76.2] Eugene Goodson:
"ENERGY UTILIZATION BY VARIOUS
MODES OF TRANSPORTATION"
SAE-Special Publ. No. 406:
Energy and Transportation,
USA 1976
- [77.0] Søren Alrøe:
"FREMSTILLING AF STÆRKSTRØMSTEK-
NISKE PRODUKTER UNDER ENERGI- OG
RÅSTOFKNAPHED"
Stærkstrømsafdelingen, DTH,
publ.nr. 7708. Dele af rapporten
offentlig tilgængelig.
Danmark 1977

- [77.1] Jens Bonke m.fl.:
"GODSTRANSPORT - SEKTORBESKRIVELSE"
t-ATV-rapport, Danmark januar 1977
- [78.0] "ENERGIBESPARELSER I INDUSTRIELLE
PROCESSER"
Dansk Kedelforening, Teknologisk
Institut og Jydsk Teknologisk
Institut, Danmark 1978.
- [78.1] E.N. Morris:
"HOUSING ENERGY ECONOMICS"
Building and Environment, Vol. 13
Edinburgh 1978
- [79.0] "DANSK ELFORSYNING 1978"
Danske Elværkers Forening
Danmark 1979.
- [79.1] Sigurd Andersen:
"ENERGIFORBRUG TIL FREMSTILLING AF
BETONKONSTRUKTIONER"
Publikation nr. 7, p. 15-34, Dansk
Betonforening, Danmark 1979.
- [80.0] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG
VED FREMSTILLING AF BOLIGER"
Rapport nr. 137, Instituttet for
Husbygning, DTH, Danmark 1980
- [80.1] Sigurd Andersen:
"ISOSTATPLADER"
Rapport nr. 136, Instituttet for
Husbygning, Danmark 1980.

3.3. RÅSTOFFER

3.3.0 Generelt

Denne sektor omfatter materialer som udvindes af jorden eller af jordens organiske vækst. Følgende materialer vil blive behandlet:

1. Sten, grus og sand
2. Ler
3. Jernmalm og andre malme
4. Kalk
5. Brændt kalk
6. Træ som råstof
7. Natursten

3.3.1 Sten, grus og sand

Som tilslagsmaterialer i husbygningssektoren anvendes i dag sten, grus og sand udvundet hovedsageligt af grusgrave i Danmark.

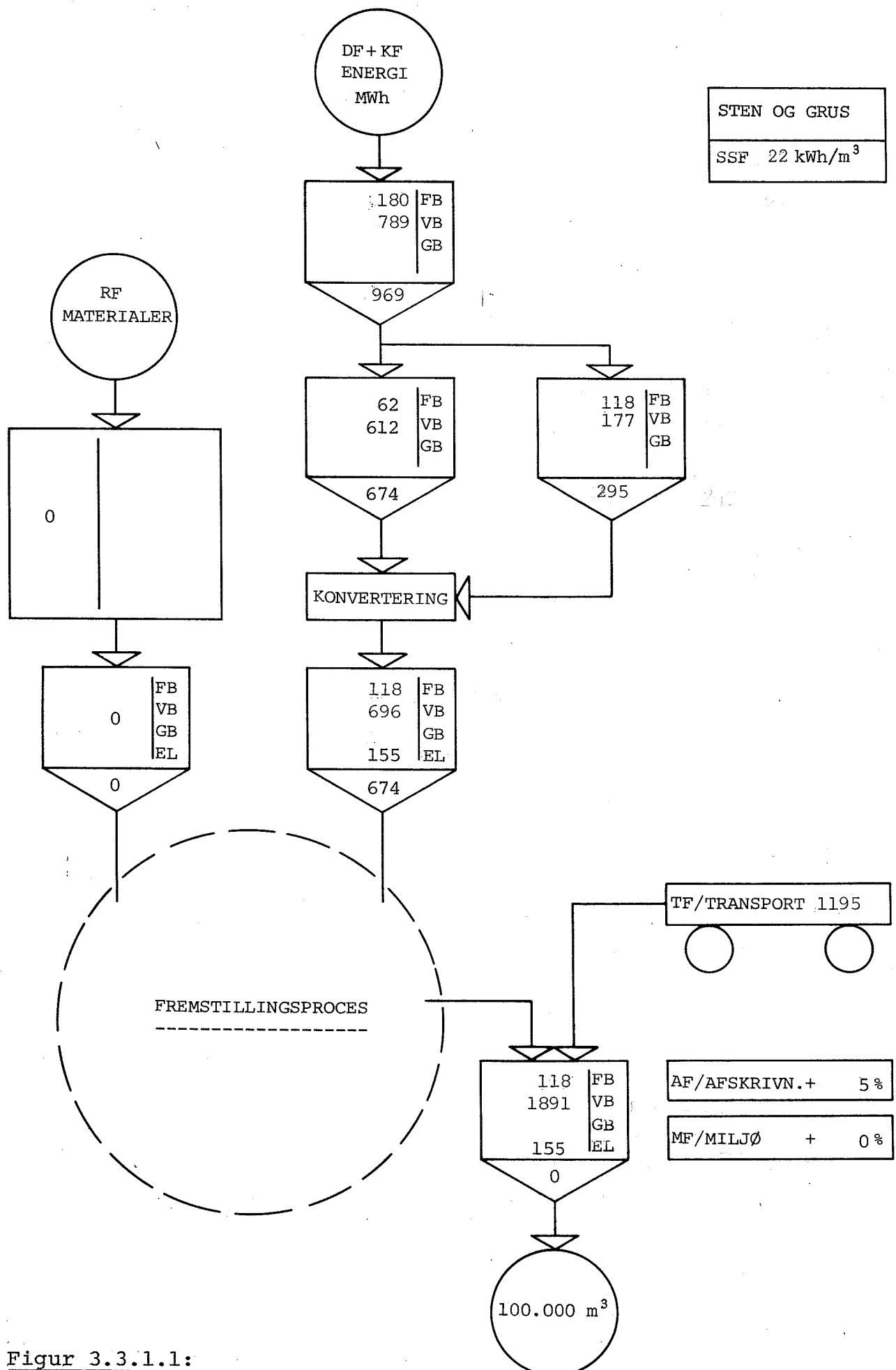
Langt det største energiforbrug i produktionsprocesserne optræder i dette tilfælde som dieselolie, drivmiddel til entreprenørmateriel i grusgravene. De bedste oplysninger herom findes i [76.1] og disse ligger til grund for værdierne i figur 3.3.1.1 og tabel 3.3.1.1. Effektiviteten af arbejdsmetoden er svær at fastlægge. Den skønnes til 50%. Afskrivning af materiel skønnes til 5% svarende til regnestykket i afsnit 0.1.4, mens det miljøbetingede energiforbrug er inkluderet. Nyttevirkning af dieselmotorer afrundes her til 20%.

kwh/ton	ASF	MSF	ASF
Produktion	6.1	3.1	0.6
Transport	8.6	4.3	0.9
Afskrivning	0.3	0.2	0
	15.0	7.6	1.5
	~15	~8	~2

Tabel 3.3.1.1:

Energiforbrug til fremstilling af tilslagsmaterialer fra grusgrave.

I fremtiden forudses der bl.a. i [75.2] og [76.0], at tilslagsmaterialer må hentes i dybereliggende jordlag. De lettilgængelige forekomster er efterhånden så udtyndede, at man i fremtiden i stedet må udnytte dårligere og mere blandede grusforekomster.



Figur 3.3.1.1:
Energi-flow-diagram for udvinding af sten og grus [76.1].

Dette vil kræve en mere udstrakt mekanisk sortering og udvaskning. Det har desværre ikke været muligt at skaffe tal for energiforbruget ved disse specifikke operationer.

Et alternativ kunne være at benytte nedknust klippemateriale. Brydning og knusning af klippematerialer kræver betydeligt større energimængder end udvinding af grusgravsmateriale. [78.1] og [75.4] angiver til brydning og nedknusning til groft tilslag et forbrug på 70000 Btu/ton (short) eller 22.6 kWh/ton.

For at opnå ensartede kornstørrelser må dette grove tilslag ofte knuses igen, hvilket kræver 40000 Btu/ton (short) eller 12.9 kWh/ton.

Alt i alt for et sammenligneligt tilslagsmateriale altså 35.5 kWh/ton. Da sådanne materialer må hentes fra Bornholm, Sverige eller mellem-Europa bliver også transportenergiforbruget noget større.

Skønnes en middeltransportafstand på 500 km fås et tillæg på 9 kWh/ton for indenlandsk transport og 75 kWh/ton for langdistance-transporten (tog).

ASF for knust klippemateriale kan således omtrentligt sættes til 120 kWh/ton. Energiforbruget til fremstilling af knust grusgravsmateriale kan herudfra skønnes til 32 kWh/ton. Naturligvis er energiforbruget til knusning af stenmateriale meget afhængig af start- og slutkornstørrelse. De her angivne værdier for energiforbrug må derfor betragtes med dette i mente.

Sømaterialer anvendes i dag en hel del, især i færdigblandet beton. Disse sømaterialer hentes fortrinsvis fra danske farvande og må i modsætning til grusgravsmaterialerne både sorteres og vaskes for organiske materialer. Det har desværre ikke været muligt at finde litteratur om energiforbruget ved udvinding af sømaterialer. Ej heller har udsendte spørgeskemaer givet resultat. Der skal derfor ikke angives noget energiforbrug for sømaterialer.

Med de samme antagelser m.h.t. MSF og ASF som under grusgravsmaterialer fås værdierne i tabel 3.3.1.2.

kWh/ton	ASF	MSF	FSF
Knust klippem.	120	60	24
Knust grusgravsm.	32	16	6

Tabel 3.3.1.2:

Energiforbrug til fremstilling af knuste stenmaterialer.

3.3.2 Ler

I de industrier, hvor leret er en råvare, ligger produktionsstedet meget ofte i umiddelbar nærhed af lergravene og råstofudvindingen hører naturligt med til produktionen.

Det har derfor ikke været muligt i litteraturen eller igennem spørgeskemaer at udskille dennes andel af energiforbruget.

Som en tilnærmelse antager jeg at forbruget er af samme størrelse som for grusgravsmateriale altså

	ASF	MSF	FSF
kwh/ton	6	3	1

Tabel 3.3.2.1:

Energiforbrug til udvinding af ler.

3.3.3 Jernmalm og andre malme

For jernmalm er der kun én kilde at støtte sig til nemlig [75.5]. I denne angives der et omtrentligt forbrug på 300 kwh/ton stål, svarende til 200 kwh/ton malm. Denne værdi vil naturligvis variere meget med malmens art og beliggenhed i jordlagene. Der vælges her at benytte de 200 kwh/ton som ASF-værdi, også for andre malme.

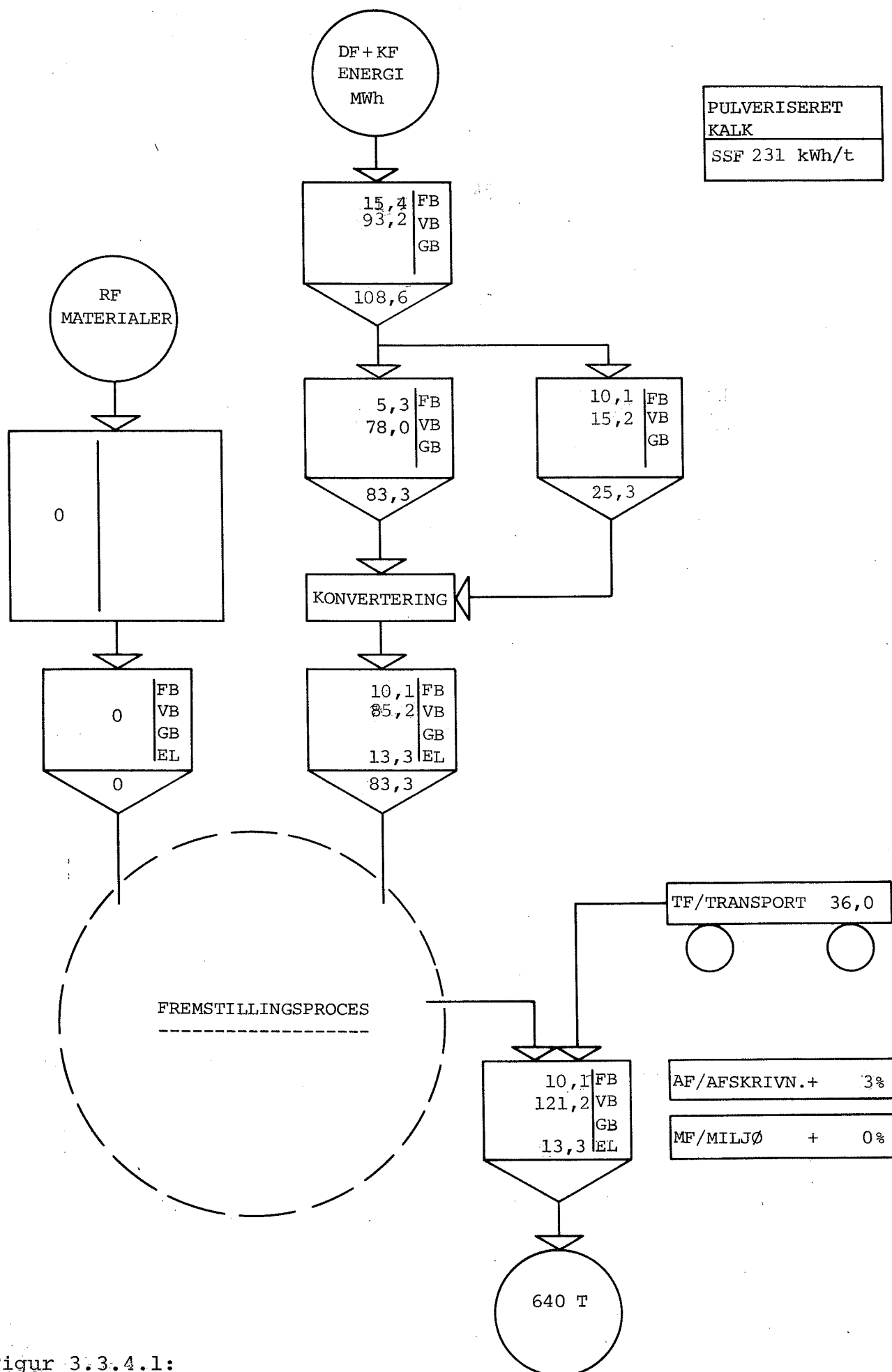
	ASF	MSF	FSF
kwh/ton	200	100	20

Tabel 3.3.3.1:

Energiforbrug til udvinding af malm.

3.3.4 Kalk

Kalk, CaCO_3 , udvindes i ret få kaldbrud i Danmark og må derfor transporteres over store afstande. Den kalk, der bruges i cementproduktionen udvindes på stedet og er ikke med i denne opgørelse.



Figur 3.3.4.1:
Energi-flow-diagram for pulveriseret kalk.
Kilde [76.1].

Kalken leveres enten som pulveriseret kalk eller som pulveriseret brændt kalk, CaO . Det sidste beskrives nærmere i afsnit 3.3.5.

Energiforbruget, som beskrevet i [76.1], går til brydning, harpning, pulverisering, tørring og opvarmning af administrations-lokaler. Udnyttelsen af produktionsmateriel sker normalt med 40-60%, mens motorernes virkningsgrad vil ligge ved 30%.

Til harpning og pulverisering anvendes 20,8 kwh el./ton. Ifølge [75.5] udføres sådanne processer med en meget dårlig effektivitet på omkring 10%.

Tørringsprocessen kræver 103 kwh/ton ifølge [76.1]. Kalkens fugtighed skal sænkes fra omkring 20% (vægt) til 12% svarende til 100 kg vand/ton kalk eller en fordampningsvarme på 70 kwh/ton. Denne fordampningsvarme kan meget vanskeligt genvindes p.g.a. dampenes aggressive miljø. Antages at ca. 70% af den resterende tørringsvarme kan genvindes fås:

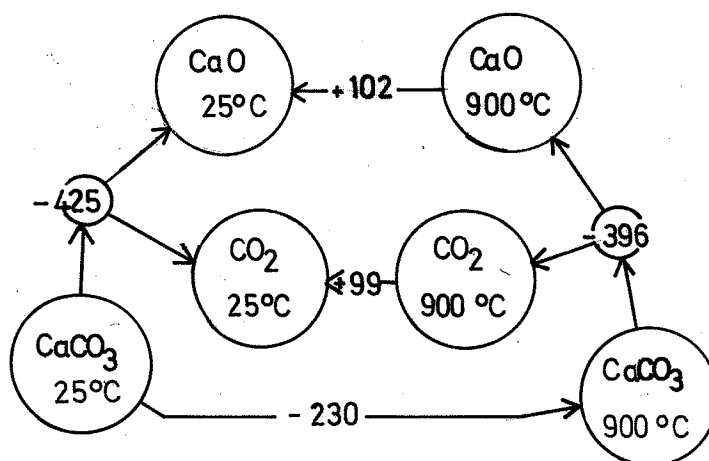
kWh/ton	ASF	MSF	FSF
Brydning	1.9	0.9	0.3
Harpning + pulverisering	60.3	31.2	4.6
Tørring	103.0	79.8	0
Komfort	1.0	0	0
Transport	60.0	30	6
Afskrivning 3%	4.5	3.3	0
Ialt:	231	161	11

Tabel 3.3.4.1:

Energiforbrug til fremstilling af pulveriseret kalk.

3.3.5 Brændt kalk

For brændt kal, CaO , gælder de samme overvejelser som i 3.3.4. [76.1] angiver, at der bruges 2015 kwh/ton til brændingen. De termodynamiske grænseværdier for brændingen er angivet i figur 3.3.5.1.



Figur 3.3.5.1:
Entalpiændringer i grundprocessen for
kalkbrænding

I praksis skal processen ske ved 900°C og da vil det være svært at genvinde hele varmemængden, som afgives ved afkølingen.

Der skal her skønnes en 50% genvinding af den varme, der afgives af de opvarmede materialer samt at det øvrige varmetab kan undgås helt.

Procesvarmen ved 25°C er ifølge figur 3.3.5.1.

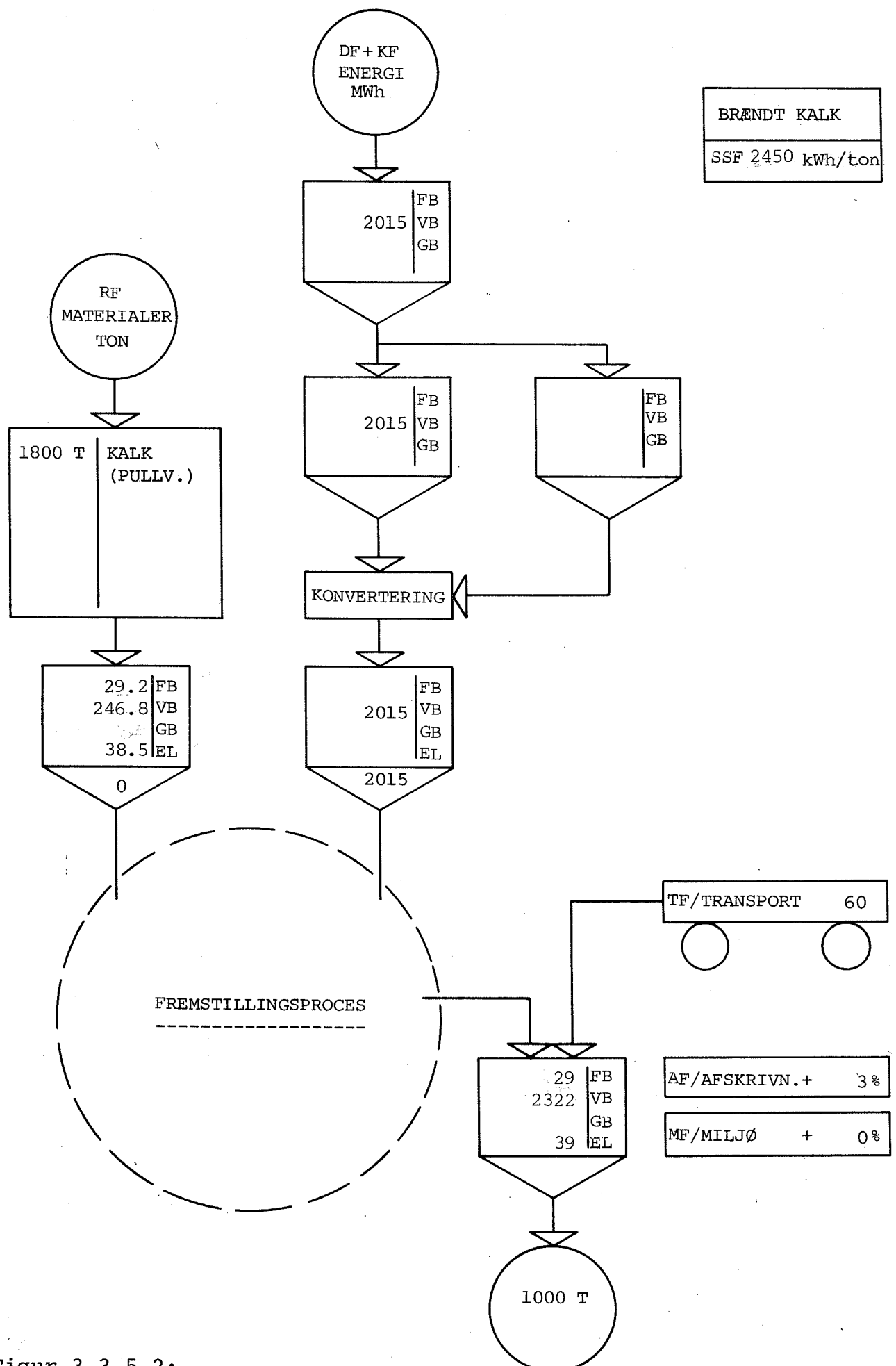
425 cal/g CaCO_3 svarende til 882 kWh/ton CaO, idet der til 1 ton CaO bruges 1,8 ton som råstof.

kWh/ton	ASF	MSF	FSF
Kalk	316	236	8.8
Brænding	2015	1090	882.0
Afskrivning 3%	70	30	0
Transport	60	30	6
Ialt:	~2450	~1385	~900

Tabel 3.3.5.1:
Energiforbrug til fremstilling af brændt
pulveriseret kalk.

3.3.6 Træ

Hugst af træ, eller rettere produktion og hugst af træ, er ret detaljeret beskrevet i [77.0] og dennes arbejdspapirer og [76.2]. De forskellige energiforbrug til delprocesserne er angivet i tabel 3.3.6.1.



Figur 3.3.5.2:
Energiflow-diagram for brændt kalk.
Kilde [76.1].

Proces	[77.0] Danmark 1976 kWh/m ³ *)	[76.2] Sverige 72 kWh/m ³ **)
Råmaterialer	1,6	(1,6)
Jordbearbejdning m.m.	3,2	1,2
Fremstilling af vej m.m.	-	3,5
Hugst og afgrening	10,8	7,5
Transport til fast vej m.m.	34,1	12,7
Transport til savværk	10,8	24,3
Forvaltning og bygninger	(4,0)	4,3
Service på maskiner	-	1,3
Afskrivning af maskiner	5,1	(3,5)
Personaletransport	-	1,2
	69,6	61,1

*) m³ salgbart træ, d.v.s. stamme med bark.

**) m³ skogsmål, d.v.s. stamme med bark med følgende anvendelsesfordeling:
42% tømmer, 51% træmasse, 5% brænde, 2% øvrigt.

***) transport med lastbil gennemsnitsvejlængde 30 km.

****) er indeholdt i "afskrivning af maskiner".

Tabel 3.3.6.1:

Energiforbruget til produktion og hugst
af træ.

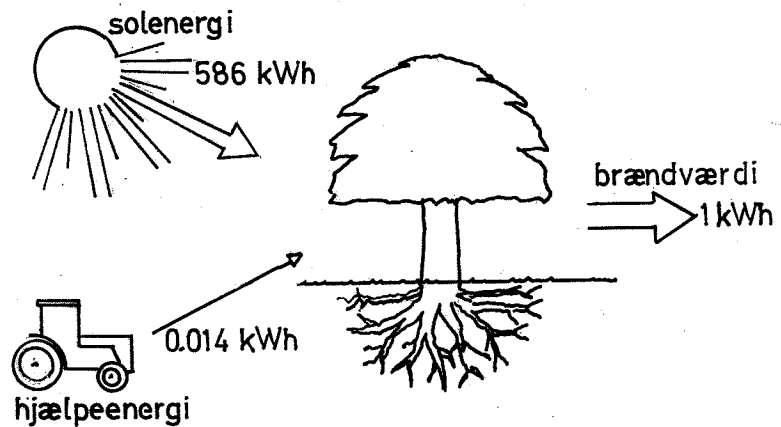
[75.3] angiver for maskinel hugst af hele træer et energiforbrug på 31,5 kWh/ton svarende til 16 kWh/m³, men da er der kun regnet med driftsforbruget af olie til maskinerne.

Ved hugsten transporteres idag kun 60% af træet videre til savværkerne, hvoraf ca. 50% udnyttes i materialerne, d.v.s. rundt regnet en trediedel af træet bruges til materiale. Dette faktum gør, at hugst af hele træer, der foregår ved forspåning af hele vedmassen, bliver forholdsvis energiøkonomisk.

Til bestemmelse af ASF, MSF og FSF for "træudvinding" er det mest relevant at bruge oplysningerne fra [76.2], idet Danmark importerer (1974) 3/4 af forbruget fra de nordiske lande, først og fremmest Sverige. Idet det næsten udelukkende er olie- eller benzindrevne maskiner, der står for energiforbruget anvendes her samme beregningsmetode for MSF og FSF, som under transport.

	ASF	MSF	FSF
kWh/ton	61	30	6

Tabel 3.3.6.2:
Energiforbrug ved produktion og hugst af træ.



Figur 3.3.6.1:
Energiflow i skovbruget [75.1].

		Import	Eksport	Salg	Importland
Rundtømmer	nåletræ m ³	170.000	7.000	0	D
til opskæring:	løvtræ m ³	62.600	14.100	0	S
Tømmer:	nåletræ m ³	1.022.000	18.600	125.000	S/SU
	løvtræ m ³	33.120	56.400	101.000	D/GB
Høvlet nåletræ:	m ³	159.000	4.000	0	S/N/SU
Parketstave:	m ³	5.200	11.700	52.500	S
Vinduer:	ton	410	6.600	13.500	S
Døre:	ton	3.400	3.100	20.100	S
Limtræ:	+1.000 kr.	12.500	10.600	69.640	
Spånplader:	m ³	126.000	24.000	350.000	S

Tabel 3.3.6.3:
Danmarks import/eksport af træ i 1974.
Kilde [77.1] og [78.0].

3.3.7 Natursten

Med natursten menes her beklædnings- og belægningsmaterialer af sandsten, granit, marmor eller andre bjergarter.

Det er klart, at det må blive en tilnærmelse at bestemme et energiforbrug til fremstilling af så forskellige stenarter. Som udgangspunkt kan benyttes værdierne for knust klippemateriale. Tages den uundgåelige spildprocent ved fremstillingen i regning må energiforbruget ligge mellem 150 og 250 kWh/ton. Her vælges værdien til 200 kWh/ton.

	ASF	MSF	FSF
kWh/ton	200	100	20

Tabel 3.3.7:

Energiforbrug til fremstilling af natursten.

Desværre har der ikke kunnet skaffes litteratur om emnet, og de angivne tal må tillægges den største usikkerhed.

3.3.8 Litteraturliste

- [73.0] Richard J. Auchter:
"RECYCLING FOREST PRODUCTS
RETRIVED FROM URBAN WASTE"
Forest Products Journal No. 2,
U.S.A. 1973
- [74.0] Erik Reitzel:
"RÅHUS OG RÅSTOFFER"
DIF-pjece nr. 8, Danmark 1974
- [75.0] Kurt H. Garmin m.fl.:
"TRÆ OG FORBRUG"
DIF-pjece nr. 5, Danmark 1975
- [75.1] "RESURSFLÖDEN I SVENSKT JORD- OCH
SKOGSBRUK 1956 OCH 1972 MED TONVIKT
PÅ ENERGISTRÖMMAR"
Institutionen för Ekonomi och
Statistik, Lantbrukshögskolan,
rapport nr. 64, Sverige 1975
- [75.2] P. Ahrentzen, P.O. Falkesgård:
"LOW COST ROADS, LIGHTLY TRAFFICKED
ROADS, QUESTION VIII"
Nationalt bidrag til "XVth World
Road Congress, Mexico 1975",
Danmark 1975
- [75.3] Jerry Morey:
"CONSERVATION AND ECONOMICAL
HARVESTING OF WOOD FIBER BY
USING THE WHOLE TREE"
Tappi Vol. 58, No. 5,
U.S.A. 1975
- [75.4] "ENERGY REQUIREMENTS FOR ROADWAY
PAVEMENTS"
The Asphalt Institute, Misc-75-3-
U.S.A. April 1975.
- [75.5] "THE DATA BASE, THE POTENTIAL FOR
ENERGY CONSERVATION IN 9 SELECTED
INDUSTRIES. I + III"
Office of Industrial Programs,
U.S.A. 1975
- [76.0] "RÅSTOFHUSHOLDNING"
Fredningsstyrelsen, Danmark 1976
- [76.1] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976

- [76.2] W. Genfors og B. Thyr:
"DATAUNDERLAG FÖR ENERGIBALANSBE-
RÄKNINGGAR INOM SKOGBRUKET"
Institutionen för Skogsteknik,
Rap. 96/76, Sverige 1976
- [77.0] A. Hjortshøj Nielsen og Svend Ras-
mussen:
"EN KORTLÆGNING AF DEN PRIMÆRE
JORDBRUGSSEKTORS ENERGIFORBRUG"
side 28-29. Økonomisk Institut,
Den kgl. Vet. og Landbohøjskole,
Danmark 1977
- [77.1] "VARE- IND- OG UDFØRSEL"
Statistiske Meddelelser,
Danmarks statistik 1977.
- [78.0] "VARESTATISTIKKEN FOR INDUSTRIEN
1975-77"
Danmarks Statistik 1978
- [78.1] R.K. Hawthorne:
"ENERGY REQUIREMENTS FOR ROAD
PAVEMENTS"
Road Research Unit, Newsletter No.58
New Zealand 1978
- [78.2] Ahrensen:
"---SAMTALE APRIL 1978"
Statens Vejlaboratorium
Roskilde, Danmark 1978

3.4. FRISK BETON OG MØRTEL.

3.4.0 Generelt

Dette afsnit omhandler beton og mørtel som råmateriale på byggepladsen. Beskrivelsen inddeles i følgende materialer:

1. Cement
2. Mørtel
3. Færdigblandet beton
4. Porebeton
5. Letkornsbeton

3.4.1 Cement

Dette råmateriale, der i Danmark har en dominerende position i boligbyggeriet, overvejende i flerfamiliehusbyggeriet, fremstilles idag under yderst kontrollerede forhold. Danmark er praktisk taget selvforsynende med cement. Cementen fremstilles af lokalt forekommende råstoffer efter den såkaldte våd-metode.

Råmaterialerne er ler, kalk og vand. Nyere forsøg med fremstilling af cement ved tilsætning af affaldsprodukter som slagger og flyveaske har givet gode resultater.

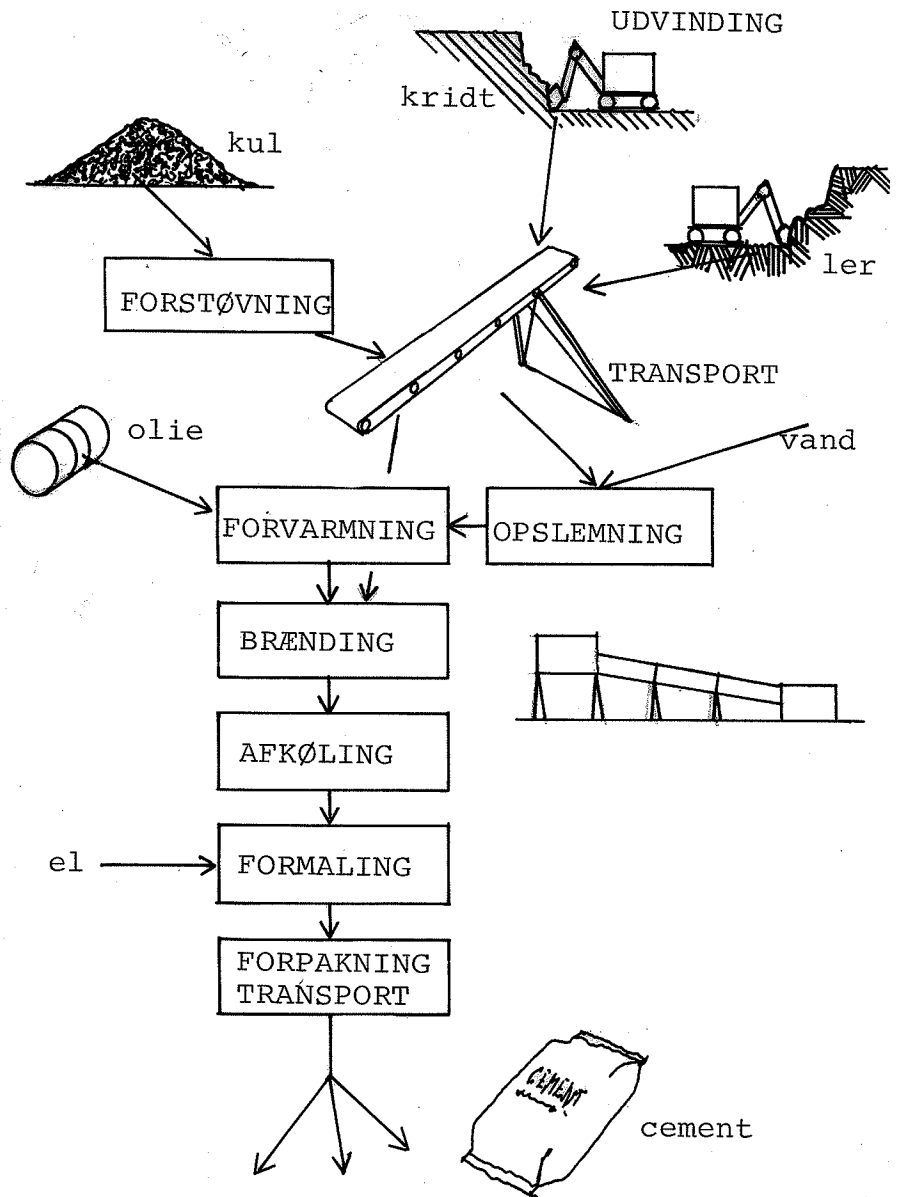
I den "våde" proces opslemmes ler og kalk i vand. Dette forvarmes og hældes sammen med forstøvet kul ind i lange roterovne. Kulstøvet skaber ved sin forbrænding den nødvendige varme til de kemiske processers forløb og når brændingsproduktet, cementklinkeren, tages ud af roterovnen må de afkøles og formales til det fine cementpulver, man kender.

I de danske fremstillingsprocesser (1974) fordeler elektricitetsforbruget sig ifølge [76.1] således:

Udvinding + slamberedning	11 kWh/ton
Forbrænding	15 kWh/ton
Cementformaling	43 kWh/ton
Transport, lys og andet	4 kWh/ton
Ialt	73 kWh/ton

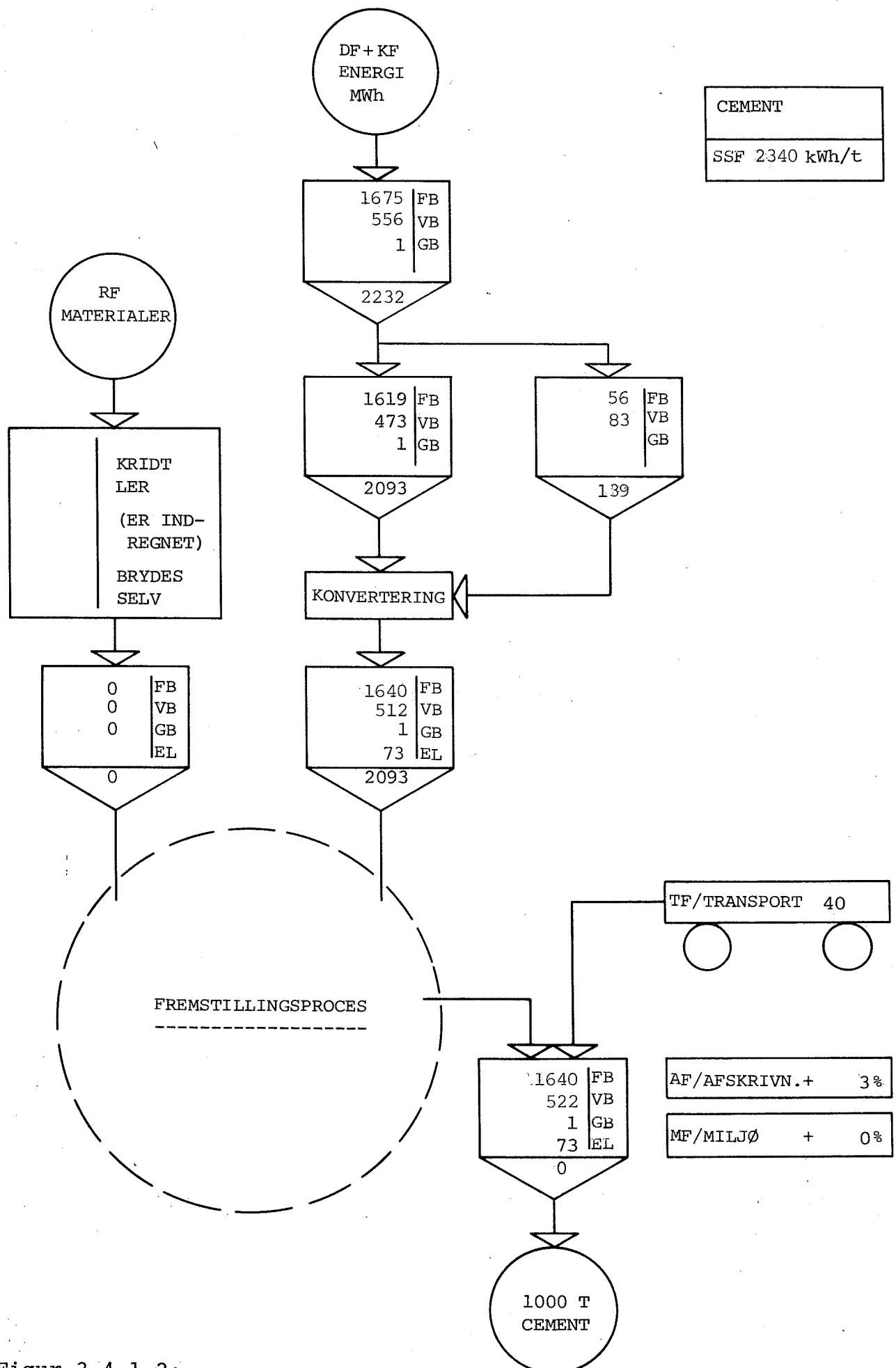
[75.0] angiver at af den totalt anvendte energi i vådprocesser bruges 20% til formaling og 75% til brænding.

I figur 3.4.1.2, som gælder for danske forhold i 1974 ses, at kulenergiforbruget, hvilket svarer til brændingen, ligeledes udgør 3/4 af det samlede forbrug.



Figur 3.4.1.1.

Principskitse af cementfremstillingen efter vådmetoden.



Figur 3.4.1.2:
Energiflow-diagram for portlandcement.
Kilde [76.1]

I den såkaldte tørproces, som anvendes en hel del i det øvrige Europa og i U.S.A, centrifugeres slammet inden det ledes ind i roterovne. Derved undgår man at bruge energi til at fordampe opslemningsvandet. Det er derfor karakteristisk, at energiforbruget i tørprocesser ligger på ca. 80% af energiforbruget i vådprocesser.

I [75.0] er der opstillet nyttevirkningsværdier for hvert trin i processen, hvorfra man kan bestemme ASF, MSF og FSF, således som det er stillet op i tabel 3.4.1.1.

	ASF [76.1]	ASF [75.0]	MSF [75.0]	FSF [75.0]
	Vådproces	Tørproces	Tørproces	Tørproces
Udvinding + opslemning	37	33	22	15
Forbrænding	1495	1080	1060	400
Formaling	251	230	155	25
Transport (internt)	19	18	12	6
Centrifugering	-	130	90	60
Opvarmning (adm.)	1	1	0	0
Tab i internt varme	30	150	0	0
Forvarmning m.m.	399	0	0	0
Transport (externt)	40	40	20	5
Afskrivning 3%	67	49	40	-
	2340	1731	1399	511

Tabel 3.4.1.1:

ASF, MSF og FSF for portland-cement.

Det ses, at MSF er ret betydelig i forhold til ASF, men til gengæld er FSF lavt nede. Det er tænkeligt, at man ved endnu større grad af genvinding, end forudsat i tabel 3.4.1.1., kan sænke MSF betydeligt.

Ved at tilsætte affaldsstoffer som flyveaske fra kulfyrede elkraftværker eller højojnsslagger under formalingen kan energiforbruget pr. ton færdigprodukt sænkes kraftigt. Da disse typer cement har praktisk taget samme kvalitet som almindelig portlandcement produceres de i større og større omfang i de europæiske lande, men udgør dog endnu en lille andel af produktionen.

Nye teknologier i cementproduktionen er undervejs, bl.a. gøres der her i Danmark forsøg med spraytørring af den opslemmede råmasse før brændingen, og genvinding af varmen fra klinkermaterialet m.m.

Værdierne i tabel 3.4.1.1 er gennemsnit for den danske cementproduktion. Indvirkninger fra en finere formaling som f.eks. i rapidcement eller tilsætning af gips m.m. til cementer har ikke kunnet bedømmes her.

Afvigelsen er formodentlig mindre end den ændring, der sker fortløbende for at forbedre brændselsøkonomien i cementproduktionen.

3.4.2 Mørtel

Som mørtelmateriale anvendes idag flere forskellige typer, som er beskrevet i [77.0] DS 414, 3.4, DIF Norm for murværk.

Disse anerkendte mørteltyper er opført i nedenstående tabel 3.4.2.1 med angivelse af ASF, MSF og FSF.

Mørteltype:	Vægtdele (tør) kg/ton					kWh/ton		
	murcement M*)	kalkhydrat K	cement C	sand	vand	ASF	MSF	FSF
K 100	0	75	0	900	25	197	121	52
M 100/900	100	0	0	870	30	131	79	24
KC 50/50		55	55	830	60	277	160	66
KC 35/65		45	80	810	65	310	180	59
M 100/600	135			825	40	172	104	32
C 100			185	740	75	444	266	95
KC 20/80		30	115	810	45	355	210	80
M 100/400	190			760	50	235	144	45

*) DS 424 kræver at cementindholdet i murcement er mindst 40%.
I praksis vil det nok være 45%, d.v.s.

	ASF	MSF	FSF
450 kg portlandcement	1055	630	230
550 kg pulveriseret kalk	125	90	3
1 ton murcement kWh/ton	1180	720	235

ASF, MSF og FSF er udregnet ved at addere råmaterialernes bidrag.

Afskrivningen er indregnet i fabrikationen af delmaterialerne.

Tabel 3.4.2.1:
Energiforbrug til fremstilling af mørtelens delmaterialer.

Opblanding af mørtel sker ofte i forbindelse med kalkbrud og kræver ret beskedne mængder af energi. Alternativt sker opblandingen på byggepladsen. I tabel 3.4.2.2 og 3.4.2.3 er mørtel-andele i murværk angivet.

	Volumenandel %	Vægtandel* % alm. sten	Vægtandel* % mangehulsten
Halvstensmur, binder	26	22	26
Halvstensmur, løber	22	18	22
Helstensmur, binder	26	21,5	26
Helstensmur, løber	27	22,5	27
Helstensmur, løber-binder	26,5	22	26,5
Halvstensmur, løber-binder	24	20	24

*) udtørret mørtelrumvægt 1500 kg/m³.

Tabel 3.4.2.2:

Mørtel-andele i murværk af teglsten eller kalksandsten.

	Volumenandel %		Vægtandel %	Vægtandel %
	188x188x388	188x188x288	188x188x388	188x188x188
Gasbeton	14	14	35	37
Lecabeton	14	15	32	34
Kalksandsten	14	15	12	13

Tabel 3.4.2.3:

Mørtel-andele, murværk af blokke.

3.4.3 Færdigblandet beton

Den færdigblandede beton blandes på virksomheden og transporteres derfra til byggepladsen. På blandestationen kan energiforbruget deles op i forbrug til

- blanding
- opvarmning
- komfort
- transport

Under transporten skal betonen omrøres for at undgå afhærdning, hvilket resulterer i et brændselsforbrug i betontransportbilerne, der er ca. 3 gange så stort som for almindelige lastbiler svarende til 1.8 kWh/ton · km eller 4.5 kWh/m³ · km.

Ifølge oplysninger fra et betonfirma i Nordsjælland er de øvrige forbrug som angivet i tabel 3.4.3.1 og 3.4.3.2.

kWh/m ³	ASF	MSF	FSF
Komfort	6	4	0
Blanding	10	7	1
Transport	47	23	5
Afskrivning	~0	0	0
	63	34	6

Tabel 3.4.3.1:
Energiforbrug til produktion af færdigblandet beton.

kWh/m ³	ASF	MSF	FSF
Færdigblandet beton	63	34	6
Opvarmning af tilslag m.m. *	145	35	20
	210	70	26

*) Disse værdier er gennemsnit for varm beton. Det er klart, at energiforbruget til opvarmning af betonen afhænger af udetemperaturen og tilslaget forhåndstemperatur.

Tabel 3.4.3.2:
Gennemsnitligt energiforbrug til produktion af varm færdigbeton til vinterstøbning.

Selve betonens råmaterialer repræsenterer i midlertid langt større energiforbrug. Især har cementindholdet i betonen en stor indflydelse på ASF for beton.

Kaldes cementindholdet i betonen c (kg/m³), kan de samlede bidrag til ASF beregnes af formlen:

$$\text{ASF} = 2.340 \cdot c + (2300 - 1.25 \cdot c) \cdot 0.015 + 63$$

som kan tilnærmes til $\text{ASF} = 2.32 \cdot c + 97.5 \text{ kWh/m}^3$.

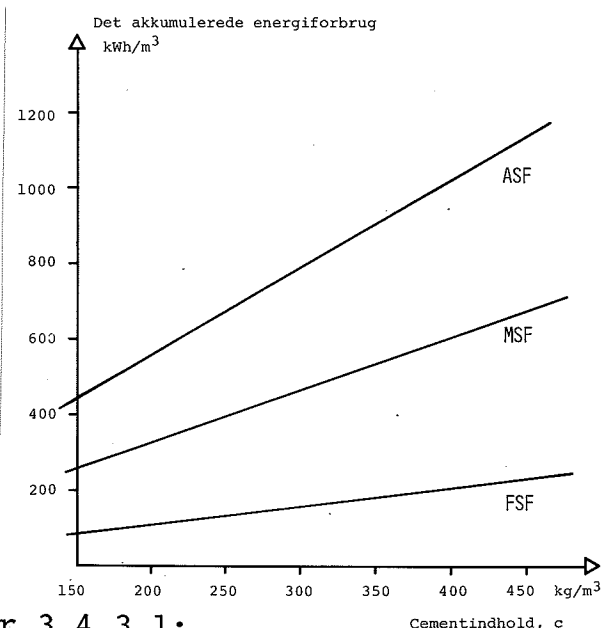
Det må påpeges, at c er cementindholdet i den afhærdede beton. Der bindes 25% af cementvægten som vand i den afhærdede beton, hvorved de 1.25 fremkommer.

Der skal imidlertid ikke her skelnes mellem 1 m³ frisk beton og 1 m³ hærdet beton, idet forskellene hidrørende fra betonens svind under hærdeningen er mindre end forskellene mellem mål på tegninger og mål på de færdige konstruktioner.

Den ovenforstående formel bliver for MSF og FSF

$$MSF = 1.39 \cdot c + 52.4 \text{ (kWh/m}^3\text{)}$$

$$FSF = 0.507 \cdot c + 10.6 \text{ (kWh/m}^3\text{)}$$



Figur 3.4.3.1:
Energiforbrug til fremstilling af færdigblandet beton.

Mindre indflydelse på energiforbruget har de tilsætningsstoffer, som er blevet stedse mere kendt de senere år. Det drejer sig om konsistensforbedrende stoffer eller midler, der forbedrer frostbestandigheden af betonen. Allerede længe kendte midler som sukertilsætning eller lufttilsætning, ændrer kun ASF-værdierne ubetydeligt.

De mere komplicerede kemikalier som er i handelen tilsættes med vægtprocenter fra 0 - 0.3 vægtprocent normalt omkring 0.1 vægtprocent.

De tilsætningsstoffer, der har det højeste ASF, er de plastificerende midler, der bl.a. består af forskellige polymerer, som har $\text{ASF} \sim 30000 \text{ kWh/t}$.

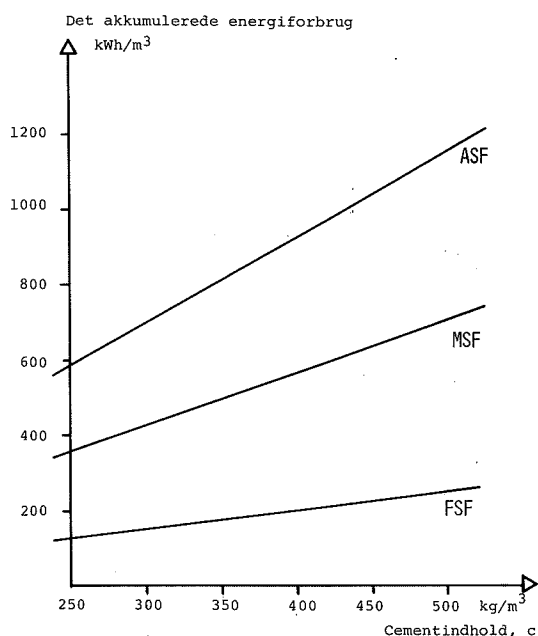
0.1 vægtprocent svarer til en forøgelse af ASF for betonen med 70 kWh/m^3 .
Se f.eks. [73.0].

3.4.4 Porebeton

Af letbetonarter anvendes til in-situ-støbning som regel kun almindelige betonarter med varierende andel af lette tilslagsmaterialer.

Sjældent anvendes porebeton til in-situ-støbning.

Energiforbruget til fremstilling af frisk porebeton skal derfor ikke behandles indgående. ASF, MSF og FSF kan udregnes ud fra råmaterialerne, hvilket giver værdierne i figur 3.4.4.1.



Figur 3.4.4.1:
Energiforbruget til fremstilling af frisk porebeton ($\rho = 800 \text{ kg/m}^3$)

3.4.5 Letkornbeton

Som let tilslag i beton anvendes næsten udelukkende expanderede klinker, her kaldet exler.

En beton bestående af exler, almindelige tilslagsmaterialer, cement og vand kaldes i det følgende letkornsbeton.

For at kunne bestemme energiforbruget til fremstilling af en sådan beton må 3 parametre kendes:

- betonens rumvægt, ρ , kg/m^3
- tilslagsmaterialets andel af exler, a , <10
- betonens cementindhold, c , kg/m^3

Herudfra kan ASF, MSF og FSF bestemmes til

$$\text{ASF} = 2.34 \cdot c + (\rho - 1.25 \cdot c) \cdot (a \cdot 1.24 + (1 - a) \cdot 0.015) \text{ mm},$$

hvilket tilnærmet kan udtrykkes

$$\text{ASF} = (2.34 - 1.55 \cdot a) \cdot c + 1.22 \cdot \rho \cdot a \quad (\text{kWh/m}^3)$$

$$\text{MSF} = (1.40 - 1.07 \cdot a) \cdot c + 0.84 \cdot \rho \cdot a \quad (\text{kWh/m}^3)$$

$$\text{FSF} = (0.51 - 0.31 \cdot a) \cdot c + 0.25 \cdot \rho \cdot a \quad (\text{kWh/m}^3)$$

Formlerne kan omskrives til

$$\text{ASF} = (2.34 - 1.55 \cdot a) \cdot c / \rho + 1.22 \cdot a \quad (\text{kWh/ton})$$

$$\text{MSF} = (1.40 - 1.07 \cdot a) \cdot c / \rho + 0.84 \cdot a \quad (\text{kWh/ton})$$

$$\text{FSF} = (0.51 - 0.31 \cdot a) \cdot c / \rho + 0.25 \cdot a \quad (\text{kWh/ton})$$

Med hensyn til ASF for exler se afsnit 3.9.

3.4.6 Litteraturliste

- [73.0] "ANVISNING I BRUG AF TILSÆTNINGS-STOFFER I BETON"
DIF-publikation NP-111-R,
Danmark 1973
- [74.0] Grün:
"MORTEL-PRÜFUNG UND BEWÄHRUNG"
Bauingenieur-Praxis, Heft nr. 36,
Vesttyskland 1974
- [75.0] "THE DATA BASE. THE POTENTIAL FOR
ENERGY CONSERVATION IN 9 SELECTED
INDUSTRIES"
Vol. I + III
Office of Industrial Programs,
U.S.A. 1975
- [76.0] "BETON I DEN DANSKE HVERDAG"
Brochure fra Ålborg Portland,
Danmark 1976
- [76.1] Søren Klokholm:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [76.2] "RÅSTOFHUSHOLDNING"
Fredningsstyrelsen, Danmark 1976
- [77.0] "NORM FOR MURVÆRK"
DS 414, DIF-norm.
Teknisk Forlag, 2. udgave
Danmark, oktober 1977

Brændingens brændselsforbrug er meget forskelligt for de danske teglværker, idet det afhænger af mange forskellige faktorer:

- stenens kvalitet
- lerets kalkindhold
- lerets indhold af organisk materiale
- ovnens art
- anlæggenes udnyttelse m.m.

3.5.1 Teglprodukter

Da energiforbruget ASF til fremstilling af materialet er domineret meget kraftigt af brændingsforbruget er de forskellige kil- ders angivelser af ASF meget afvigende fra hinanden, 700 - 1500 kWh/ton. Se f.eks. artikelliste i afsnit 3.12.

Lad os derfor se på produktionens delpro- cesser; som er

- udvinding af leret
- æltning og justering af leret
- formgivning og strygning
- tørring
- brænding
- sortering

Udvinding af råmaterialet er beskrevet i afsnit 3.3.3 svarende til ASF = 6 kWh/ton ler eller 10 kWh/ton sten.

På teglværket æltes leret, idet der til- sættes fedt ler eller magert ler og vand for at give blandingen den rigtige kon- sistens og sammensætning. Dette sker i de fleste tilfælde ved hjælp af elektriske maskiner. Der findes intet i litteraturen om dette el-forbrug, men som et groft skøn antages ASF = 40 kWh/ton.

Formgivningen og strygningen sker på moder- ne teglværker automatisk. Maskinstrøgne sten har et noget lavere vandindhold i frisk tilstand, sammenlignet med blødpres- sede. Til gengæld er spildprocenten for de blødpresede sten en lille smule mindre (færdige sten). Energiforbruget til form- givning af leret er desværre heller ikke beskrevet i litteraturen, men er af mindre størrelsesorden end ved æltningen, d.v.s. 20 kWh/ton.

Derefter tørres stenene. Dette sker i en accelereret tørreproces i moderne tegl- værker ved temperaturer mellem 30 og 50°C med tilsvarende høj og lav luftudskiftning.

Energiforbruget hertil er altså et spørgsmål om optimering mellem energi til luftopvarmning, energi til ventilation og brug af spildvarme fra brændingen. Normalt indeholder stenene 20-30 vægt% vand, som skal fjernes ved tørringen. Fordampningsvarmen heraf svarer til fordampningsvarmen af 250 kg vand pr. ton tørret ler eller 158 kWh/ton tørret ler, idet fordampningsvarmen for vand er 625 kWh/ton. I praksis bruges der langt mere energi, også fordi der delvis anvendes elektricitet. Forbruget kan ligge mellem 200 og 500 kWh/ton afhængig af tørreteknikken.

Brændingsprocessen er den del af produktionen, der kræver langt den største energimængde.

I brændingsprocessen skal der bruges energi til

1. Opvarmning af materialet til brændingstemperaturen, 280 kWh/ton. Denne varmemængde kan delvist eller helt genvindes.
2. Fordampning af det vand, som ikke kan fjernes ved tørringen. Dette forbrug hænger nøje sammen med tørringen, men er normalt af størrelsesordenen 60 kWh/ton [47.0].
3. Kemisk sønderdeling af leret og uddrivning af det kemisk bundne vand. Til denne proces kræves 110 kWh/ton [47.0].
4. Snitringsprocessen af leret, hvor minerallerne undergår kemiske ændringer. Eksempelvis omdannes kvarts til kristoballit, hvilket kan være varmeafgivende processer. [47.0] angiver energiforbrugene hertil som ubetydelige.
5. Tab igennem røggassen ~150 kWh/ton [74.0].
6. Tab igennem ovnvægge, -varmetransmission, andrager ifølge [74.0] 35 kWh/ton.
7. Tab ved afkøling af stenene 15-70 kWh/ton [74.0].
8. Tab ved afkøling af vogne 30 kWh/ton [74.0].
9. Varmluftoverskud, som kan bruges til tørring svarende til ~ 90 kWh/ton [74.0].

[74.0] gennemgår 5 tunnelovne og resultaterne fra prøvningen af dem. Da resultaterne er kommet frem efter optimering af kørslen og især forbedret v.h.a. et mindsket falskluftindtræk, må de ovennævnte værdier for tabene betragtes med forbehold m.h.t. ASF.

Stilles tallene op i skema, som i tabel 3.5.1.1, kan MSF og FSF udledes for brændingen.

Endelig sker der et indirekte energitab ved sorteringen af de brændte sten, idet man af kvalitetshensyn kasserer lige fra 1 til 10% af de blødpresede sten. [76.1] nævner, at spildprocenten kan være så stor som 30%.

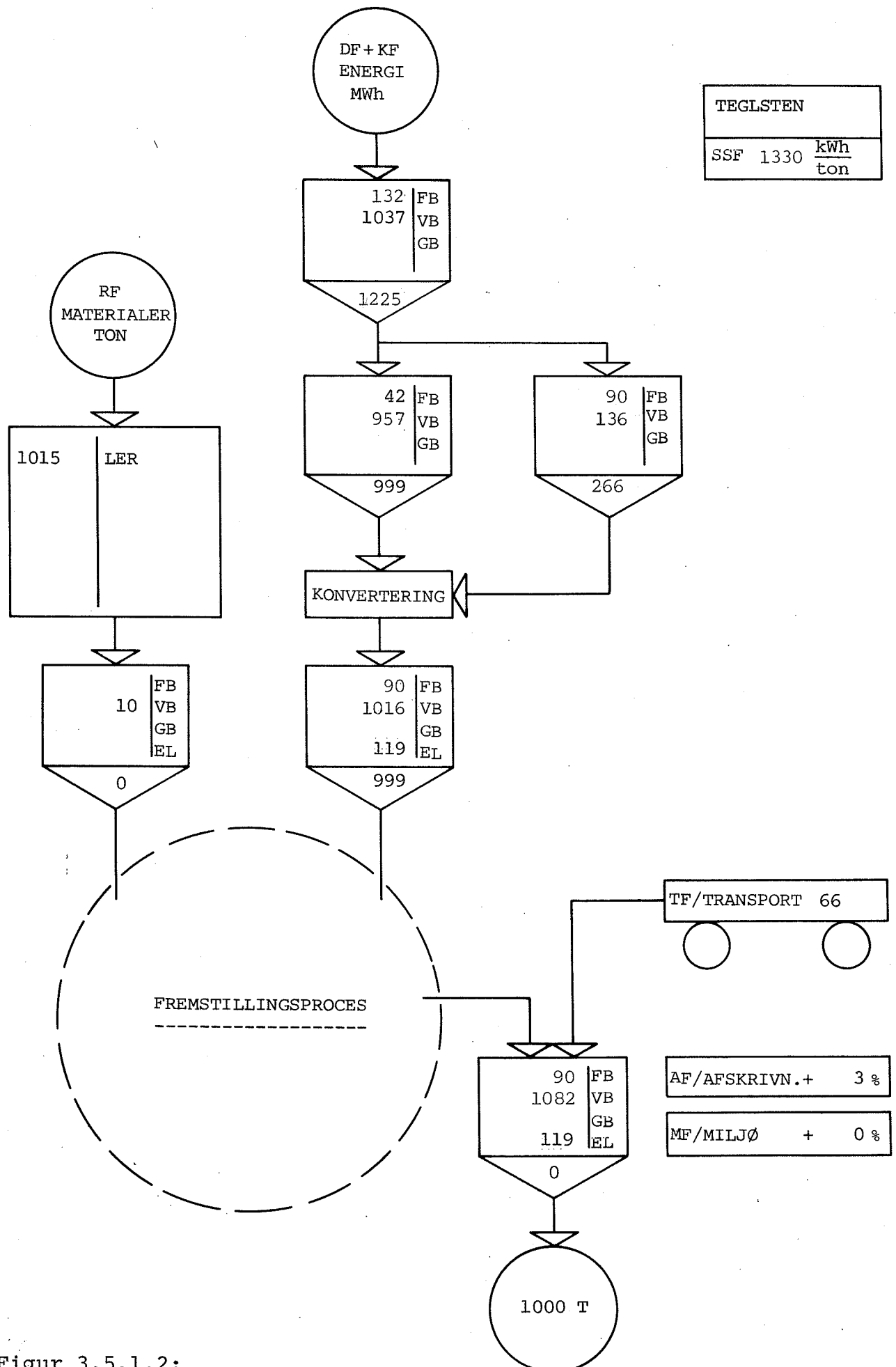
kWh	ASF	MSF	FSF
Fordampning af overskydende vand	60	60	0
Sønderdeling af leret	110	110	110
Sinttring af leret	0	0	0
Tab i røggas	150	150	0
Tab i ovnvægge	35	20	0
Tab ved afkøling af vogne	30	0	0
Tab ved afkøling af sten + forme	50	0	0
Tab i gennemstrømningsluft (kan bruges til tørring el. forvarmning)	90	0	0
Varmeforbrug til brænding	525*	340	110
Elforbrug til brænding	70	55	25
Energiforbrug til tørring	400*	175	0
Energiforbrug til formgivning	20	15	5
Energiforbrug til æltning	40	25	5
Energiforbrug til udvinding	10	5	~0
	1065	615	145
Energitab som følge af frasorteringen 1-10%	70	6	0
Totalt	1135**	620	145

*) Disse værdier er h.h.v. for lav og for høj for dansk produktion af tegl.

**) Transport m.m. ikke indregnet endnu.

Tabel 3.5.1.1:

Energiforbrug ved teglproduktion i tunnelovne [74.0].



Figur 3.5.1.2:
 Energiflow-diagram for teglstensproduktion.
 Kilde: Spørgeskema.

Forholdet mellem energiforbruget til tørring og brænding for de danske teglværker er anderledes end tallene i tabel 3.5.1.2 viser. Brændingen forbruger 600-700 kWh/ton, tørringen 200-400 kWh/ton.

Den bedste af de 5 tunnelovne i sammenligningen i [74.0] var helt nede på 230 kWh/ton i energiforbrug til brændingen. Dette skyldes hovedsageligt, at 150 kWh/ton af tabene blev anvendt til tørring og at ca. 1/4 af luftgennemstrømningen forvarmer stenene svarende til 45 kWh/ton.

Som repræsentative værdier for ASF bruges i stedet resultaterne fra fire spørgeskemaer, udfyldt af tre af de største og mest moderne teglværker i Danmark.

Værdierne svarende til et af dem ligger til grund for figur 3.5.1.1.

Det aktuelle energiforbrug for de tre teglværker er:

1	2	3
1330	1135	995 kWh/ton

Tabel 3.5.1.2:

Energiforbrug til fremstilling af teglsten i 3 danske teglværker. Kilde: Spørgeskemaer.

Ifølge samtale med en teglværkskonsulent [78.0] er tallet for teglværk 1 det mest rimelige og gennemsnittet for danske teglværker ligger omkring 1250-1300 kWh/ton. For tagsten ligger energiforbruget noget højere fordi man her også skal opvarme en form i brændingsprocessen og ovnen kan ikke pakkes så tæt. For tagsten ligger energiforbruget derfor skønnet 10% højere.

[47.0] angiver, at brændingsforbruget stiger med 60 kWh/ton hver gang brændingstemperaturen stiger 100°C. For hårdt brændte sten, der brændes ved ca. 200°C højere temperatur bliver energiforbruget derfor 120 kWh/ton højere.

Røde sten kan brændes ved ca. 100°C lavere temperatur og det røde ler indeholder ofte organisk materiale i små mængder, der giver tilskud til brændingen. Røde sten må derfor antages at have et energiforbrug, der er ca. 100 kWh/ton lavere.

kWh/ton	ASF	MSF	FSF
Gule sten	1275	650	150
Røde sten	1175	600	150
Tagsten	1400	720	150
Hårdt brændte sten	1400	750	175*
Glaseret tegl	2000	1000	200

*) ved forhøjede temperaturer aktiveres langt flere kemiske processer og FSF stiger derfor relativt meget.

Tabel 3.5.1.3:

Energiforbrug til fremstilling af tegl-produkter inklusive transport m.m.

Glaseret tegl, som regel glaserede teglsten eller klinker, kræver endnu mere plads i ovnen p.g.a. den specielle overfladebelægning og må brændes under mere specielle forhold.

På grund af manglende data m.h.t. denne produktion, må der her skønnes et ASF til 2000 kWh/ton.

3.5.2 Keramiske fliser

Keramiske fliser, der ofte fremstilles af kaolinske lerarter kan både være glaserede, hårdtbrændte og ildfaste.

[76.2] angiver her for almindelige badeværelsesfliser et ASF på $\sim 67 \text{ kWh/m}^2$.

MSF og FSF kan udregnes ved at tage samme forhold som ovenfor.

	ASF	MSF	FSF
Keramiske fliser kWh/ton	8000	4000	800

Tabel 3.5.2.1:

Energiforbrug til fremstilling af keramiske fliser.

3.5.3 Litteraturliste

- [47.0] Peter Hald:
"KERAMIKKENS TEKNIK"
Gjellerups Forlag, Danmark 1947
- [74.0] C.O. Pels Leusden:
"WARMEBILANZEN VON TUNNELÖFEN UND
MASSNAHMEN ZUR ENERGIESPARENDEN
BETRIEBSWEISSEN"
Die Ziegelindustrie, Heft nr. 7
Vesttyskland 1974
- [76.0] "RÅSTOFHUSHOLDNING"
Fredningsstyrelsen,
Danmark 1976
- [76.1] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [76.2] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG, IKKE-PUBLICEREDE
RAPPORTER"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [78.0] Teglværkskonsulent Sven Barfod:
"---SAMTALE MARTS 1978"

3.6. METALLER

3.6.0 Generelt

Fælles for metallerne er at de fremstilles udfra metaliliter, som findes i større eller mindre koncentration i malmene. Desuden fremstilles store mængder metal af genindsamlet kasseret metal, skrot.

De materialer, der er på tale som byggematerialer, er:

1. Stål: -armeringsstål
 -profiler
 -stålrør
 -galvaniserede rør
 -stålblader
2. Aluminium
3. Kobber
4. Zink og andre metaller

3.6.1 Stål

Stål anvendes til mange forskellige formål i bygninger og optræder derfor i mange former, der har gennemgået forskellige forarbejdningsniveauer. Som hovedinddeling kan man ud fra et produktionsenergi synspunkt dele stålprodukterne i 4 grupper:

- valset stål
- støbejernsprodukter
- svejset stål
- galvaniseret stål

Det karakteristiske ved energiforbruget ved valsningen er, at næsten al energien bruges til opvarmning af stålet til valse-temperaturen. Herefter behøves ingen yderligere opvarmning, men alene elektricitet til deformation af stålet. Derved opvarmes stålet så meget, at valsetemperaturen kan opretholdes.

Med hensyn til støbejern må råstålet opvarmes til smeltepunktet eller støbetemperaturen, der ligger noget højere end valse-temperaturen. Svejsning og galvanisering kan i denne sammenhæng betragtes som videreforarbejdningsprocesser.

3.6.1.1 Råstål

Råstål kaldes de produkter, som kommer ud af de egentlige stålværker, enten som blokke eller stænger (ingots).

I mange tilfælde transporteres råstål derefter til specielle stålvalseværker eller støberier m.m. I de store stålindustrier er alle disse funktioner anbragt på samme produktionsareal som f.eks. også på De Danske Stålvalseværker i Frederiksværk.

Råstålet produceres som tidligere nævnt enten ud fra malm eller fra skrot.

U.S.A.	Sverige	Vesttyskland	Benelux	Frankrig	Danmark
52%	59%	40%	30%	34%	98%

Tabel 3.6.1.1:

Skrotandelen af råmaterialet i stålproduktionen i forskellige lande i 1975 [76.1].

Fremstillingen af råstål af jernmalm sker i dag stadig ved den kendte højovnsmetode, hvor jernet smeltes samtidig med at jernilterne reduceres ved luftgennemblæsning.

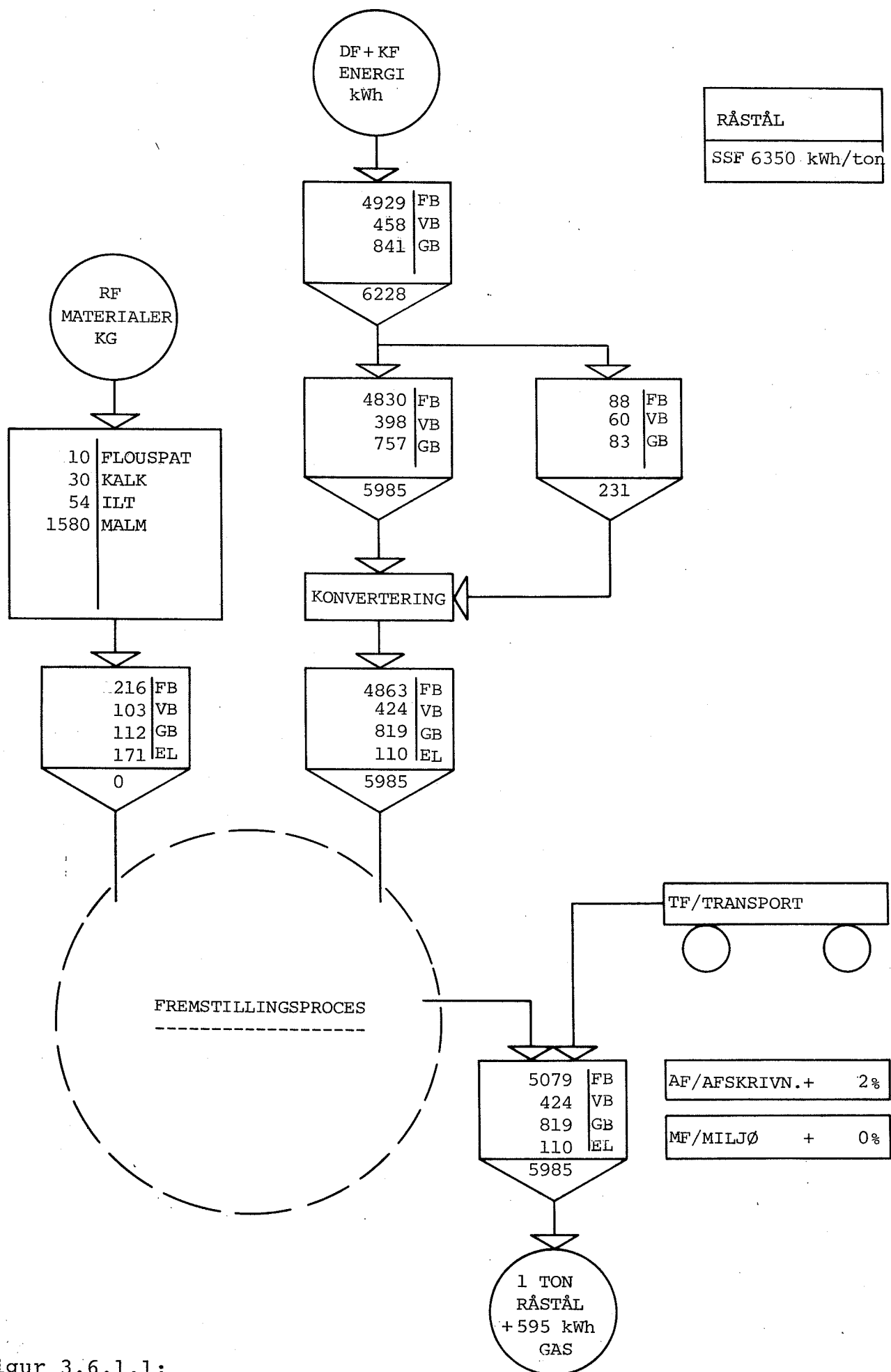
Andre metoder, som f.eks. Purofer-metoden [73.0], anvendes sjældent og giver øjensynlig heller ingen fordel med hensyn til energiøkonomi [75.0]. Fra højovnen tappes jernet, som herfra ledes til stålværket, hvor der sker en rensning og legering af jernet, således at produktet nu kan kaldes råstål.

I figur 3.6.1.1 er vist energiflow-diagrammet for råstålproduktionen i et amerikansk værk med malm som udgangspunkt. Forbruget dækker også konverteringen af kul til koks, som er brændsel i højovnene.

3.6.1.2 Valset stål

Et tilsvarende energiforbrug for Kruppværkerne i Vesttyskland [75.0] angives til 7080 kWh/ton råstål.

Denne værdi gælder imidlertid for færdigvalset stål, men er opgjort pr. ton råstål. Ved videreforarbejdningen fra råstål til valset stål sker der et spild ved fraskæringer og kassation som ifølge [77.3] ligger på ca 20% af råstålmængden. [75.3] angiver



Figur 3.6.1.1:
Fremstilling af råstål i U.S.A, energiflow.
Kilde [75.3].

for grovvalset stål spild på 9%, mens man ved produktion af stålør kan have spildprocenter på op til 35%. Dette spild indgår som skrot i stålværkerne ovne. Energiforbruget pr. ton valset stål bliver således for Krupp-værkerne ~8850 kWh/ton. Gennemsnitlig har den tyske stålindustri en 11% dårligere energiudnyttelse svarende til et forbrug på 9800 kWh/ton, der med 2% afskrivning giver 10000 kWh/ton valset stål. Tilsvarende tal fra andre lande er angivet i tabel 3.6.1.2.

I Danmark sker fremstillingen af stål næsten udelukkende af skrot. Indsamling, behandling og lagring af skrot kan skønsmæssigt sættes til et energiforbrug på 500 kWh/ton [74.1].

Tillægges skrottet dette energiforbrug fås for stålproduktionen på DDS, Frederiksværk [77.3] energiforbrug til de forskellige delprocesser som angivet i tabel 3.6.1.3 (jvf. figur 3.6.1.2).

	U.S.A. [75.3][77.0]	D [75.0]	J [75.2]	DK [77.1][77.3]	GB [75.1]
Råstoffer, malm	770	(770)	(770)	1400*	} 10050
Råstoftransport	~0	~750**	~750**	~0	
Højovn + stålværk	7550	} 9800	} 9300	2650*	
Valsning	2100			1050*	2400
Transport til DK	600	120	1000	0	160
Transport i DK	30	30	30	30	30
Afskrivning ~2 %	190	200	190	60	250
	11240	11670	12040	5190*	12890

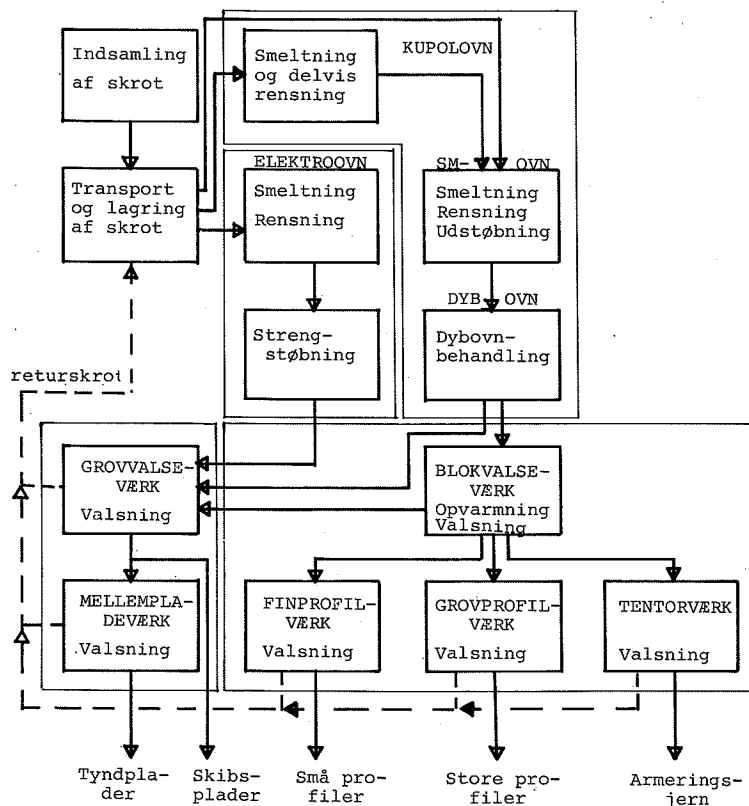
*) For produktion ud fra skrot.

**) Vesttyskland importerer næsten al malm fra Venezuela. Japan importerer næsten al malm fra Australien.

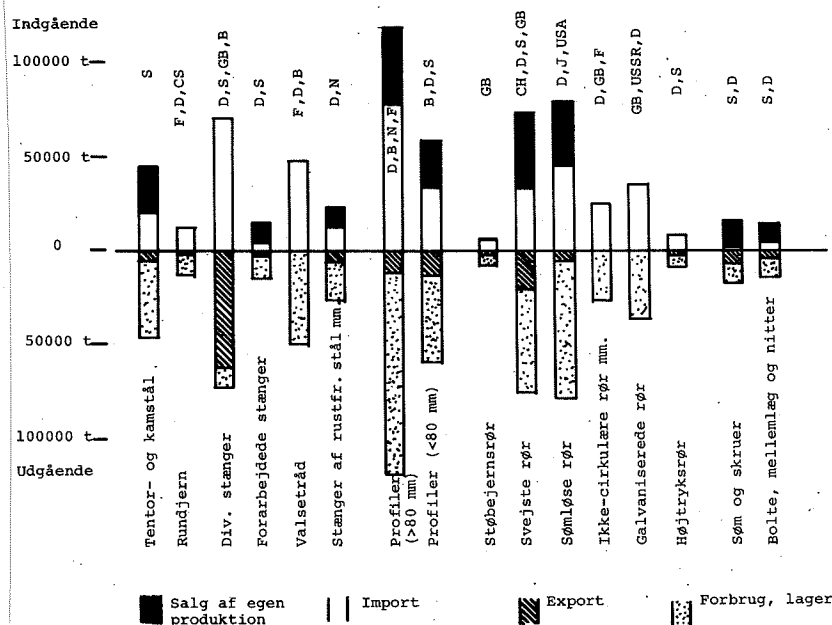
***) Tallene korrigeret for afvigelse i analysemetode idet der er benyttet GER i kilden. Produktionen er baseret på 50% skrot.

Tabel 3.6.1.2:

Energiforbrug til fremstilling af valset stål i forskellige lande.
(kWh/ton valset stål).



Figur 3.6.1.2:
Skematisk fremstilling af stålproduktionen på DDS i Frederiksværk. Kilde [77.1].



Figur 3.6.1.3:
Omsætning af bygningsstål i 1975 i Danmark fordelt på varegrupper med angivelse af de vigtigste importlande. Kilde [78.0] og [77.2].

Elektroovn + Strengstøberi	Kupol-, SM- og dybovn	Gennemsnit for råstål	Varmtvalsede plader	Valsede profiler
3360	3000	3280	5215*	5160*

*) kWh/ton valset stål

Tabel 3.6.1.3:

Energiforbrug, ASF, for valset stål fra DDS i Frederiksværk. (kWh/ton råstål).

Kombinerer man tallene fra tabel 3.6.1.2 med skrotandelene angivet i tabel 3.6.1.1 og fordeling af stålimporten på de forskellige lande kan et repræsentativt energiforbrug til fremstilling af den i Danmark anvendte stål findes. Dette er gjort i tabel 3.6.1.4 (jvf. figur 3.6.1.3 m.h.t. importmængder).

Importland	DK	S	D	Andre
Import til DK %	35	15	35	15
Skrotandel ** %	98	49	25	19
ASF fra malm	-	12000	11700	13000
ASF fra skrot	5200	(5200)	(5200)	(5200)
ASF-bidrag	1820	1300	3525	1725

Tabel 3.6.1.4:

Energiforbrug til fremstilling af valset bygningsstål, ASF (kWh/ton valset stål).

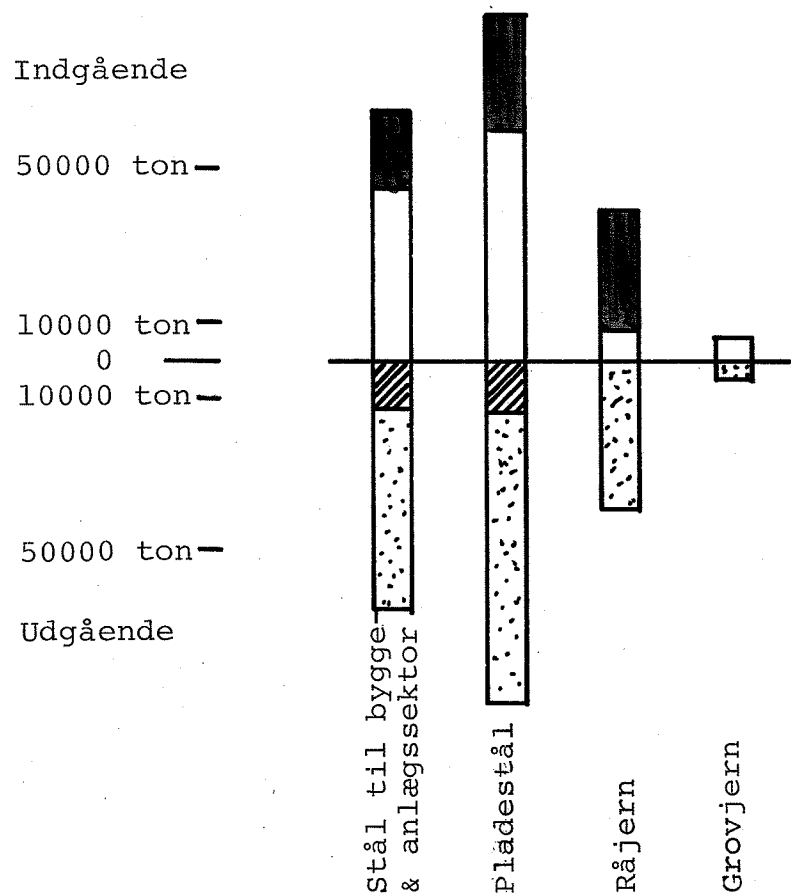
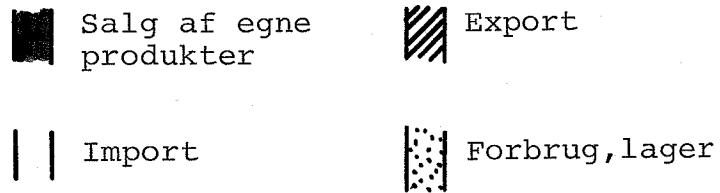
ASF-vægtet gennemsnit $\sim$ 8370 kWh/ton valset stål.

Vil man bestemme MSF og FSF, må man se på tabene i de enkelte processer. [75.0] angiver for Kruppværkerne et genvindeligt energitab i fremstillingsprocessen på 55% for valset stål.

Antages denne spildprocent også at være gældende for produktion ud fra skrot bliver MSF for fremstillingsprocessen 3350 kWh/ton.

Hertil kommer transport og råstofferne bidrag som skønnes til 350 kWh/ton. MSF for valset stål bliver således 3700 kWh/ton.

**) Andel af indkøbt skrot, som antages at give et repræsentativt tal for den del af landets stålproduktion, der foregår efter samme mønster som på DDS. Tallene fremkommer ved at korrigere værdierne i tabel 3.6.1.1. for den interne skrotandel på ca. 20%, som vil forekomme i enhver stålproduktion (valset stål).



Figur 3.6.1.4:

Omsætning af stålprodukter i Danmark i 1975.
Kilde [78.0] og [77.2].

Det ses, at en betydelig del af vort stålforbrug i bygge- og anlægssektoren er importeret stål. Salg af egne produkter står her for leverancen af armeringsjern og profiljern fra DDS til bygge- og anlægssektoren.

Som mål for FSF kan benyttes entalpi-ændringerne, ΔH , for de isolerede produktionsprocesser.

[77.0] angiver ΔH for reduktion af jernmalm til 2540 kWh/ton råstål og ΔH for smeltning og legering er - 160 kWh/ton.

Tages der hensyn til råmaterialer, transport m.m., må der skønsmæssigt tillægges 100 kWh/ton. Elektricitetsforbruget ved valsning angives af [76.0] som ~5 kWh/ton pr. gang forlængelse. Forlængelsen af stålet under valsningen ligger normalt i intervallet 5-50 gange. Dette svarer til et energiforbrug på 25-250 kWh/ton. Valsningen giver dog kun et minimalt tilskud til FSF, idet valsningen som tidligere nævnt resulterer i en tilsvarende opvarmning af metallet, $\Delta H \sim 0$.

Med et gennemsnitlig skrotprocent på 50% kan MSF og FSF for valset bygningsstål udregnes, idet valset stål af skrot tillægges FSF-værdien 0 kWh/ton.

ASF	MSF	FSF
8370	3700	1250

Tabel 3.6.1.5:

ASF, MSF og FSF for valset stål.
(Vægtet værdi, kWh/ton).

3.6.1.3 Støbejern

Støbejern fremstilles ligesom det valsede stål både af skrot og råjern fra højovne. [77.0] angiver for den amerikanske støbejernsindustri et produktionsenergiforbrug på 5835 kWh/ton (jvf. tabel 3.6.1.6).

Tages der hensyn til råmaterialerne kan deres bidrag udregnes på analog måde som i 3.6.1.2 til 3650 kWh/ton støbejern.

Den største del af det danske forbrug af støbejern importeres fra England, hvilket svarer til et transportenergiforbrug på ~100 kWh/ton (tog).

Antages at det førnævnte produktionsenergiforbrug også gælder for engelsk produktion fås med en afskrivning på 2% ASF til

9730 $\frac{\text{kWh}}{\text{ton}}$ inclusive transport i Danmark.

Med den usikkerhed, der er knyttet til dette tal må ASF i det følgende afrundes til 9700 kWh/ton.

MSF og FSF tillægges samme størrelsesorden som for valset stål.

Proces	Energiforbrug
Smeltning	2810
Fremstilling af form	630
Støbning og afformning	275
Varmebehandling	320
Rensning af emne	1460
Miljøkontrol m.m.	340
Ialt	5835

Tabel 3.6.1.6:

Produktionsenergiforbrug for støbejernsindustrien i U.S.A. i 1976, kilde [77.0]. (kWh/ton støbejern).

ASF	MSF	FSF
9700	4000	1300

Tabel 3.6.1.4:

Energiforbrug til fremstilling af støbejernsprodukter (kWh/ton).

3.6.1.4 Svejst stål

Ved svejsning med elektroder gælder som håndregel, at energiforbruget er 4 kWh el/kg svejsestål, mens det for pulver svejsning er af størrelsesordenen 1.5 kWh el/kg svejsestål. Ofte opvarmes emnerne for at undgå egenspændinger, hvilket bidrager til at øge energiforbruget ved svejsning. Ved svejsning på fabrikker er afskrivning og komfortenergiforbruget ikke uvæsentlig p.g.a. et relativt stort produktionsareal i forhold til energiforbrugets størrelse.

Tages der hensyn til konvertering til elektricitet skønnes det samlede energiforbrug ved svejsning at være 10 kWh/kg svejsestål.

I forbindelse med fremstilling af svejste produkter fraskæres der materiale. Den aktuelle spildprocent kan være meget forskellig, men i større virksomheder er den næppe højere end 5%.

Hvor meget svejsestål anvendes der pr. enhed svejset stål? Dette afhænger dels af emnernes art og størrelse. For dragere og større svejste rør kan man med almindeligt forekommende svejsesømme udregne andelen til ca. 1%, mens andelen i beslag, samplingsdetaljer o.l. kan ligge i nærheden af 5-6%.

Til denne udregning vælges et gennemsnitligt forbrug af svejsestål på 2.5% som tillægges et ASF på 10000 kWh/ton.

	ASF	MSF	FSF
1050 kg valset stål	8790	3885	1310
25 kg svejsestål	250	125	50
Svejsning	250	125	50
Transport, afskr. m.m.	75	20	10
Ialt	9365	4155	1420
Afrundes til:	9350	4150	1420

Tabel 3.6.1.8:

Energiforbrug til fremstilling af svejset stål. (kWh/ton).

3.6.1.5 Galvanisering

Ved galvaniserings-, forzinknings- eller overtrækningsprocesser kan man dele energiforbruget op i fire delprocesser

- fremstilling af overtræksmetal
- rensning af emne
- smeltning af overtræksmetal
- opvarmning af stålet til dyppetemperatur

Overtrækning af metal sker i dag med tre forskellige processer: spray-metoden, varmforzinkningen og elektrogalvanisering, som alle hver har deres fordele.

Spray-metoden anvendes meget sjældent, idet det kræver en meget omhyggelig rensning af emnet og derfor ofte giver dårlig vedhæftning.

Varmforzinkningen er meget anvendt. Metoden kræver, at emnet varmes op til overtræksmetallets dyppetemperatur og bliver derfor ret energikrævende ved tykke emner.

Elektrogalvaniseringen sker ved at emnet efter en elektrolyttisk affedtning enten sænkes ned i et zinksulfatbad eller et zinkflourboratbad og derefter ved elektrolyse påføres et overtræk af zink. Da denne proces kræver elektricitet bliver den dyr i energiforbrug, men kan, idet man kan til-lade et noget tyndere dæklag, være konkur-rencedygtig ved store tykkelser af emnet. I tabel 3.6.1.9 og 10 er det nødvendige og aktuelle energiforbrug MSF og ASF an-givet ud fra angivelser i [76.3].

Tallene i tabel 3.6.10 (side ..) er det nødvendige nettoenergiforbrug. Skal varme-energien h.h.v. elektriciteten tilvejebrin-ges må værdierne i tabellen multipliceres med konverteringsfaktorerne 1.4 for varme og 2.2 for elektricitet. Dette giver resul-tatet i tabel 3.6.1.91.

	2 mm emne	20 mm emne
Varmeforzinkning	620	590
Elektrogalvanisering	2275	230

Tabel 3.6.1.9:

Energiforbrug ved forzinkning af stålplader (kWh/ton stål).

Det ses, at varmforzinkningen er forholdsvis uafhængig af godstykkelsen af emnet, mens elektrogalvaniseringen bliver fordelagtigere med stigende tykkelse af emnet.

lagtykkelse overtræksmetal	20 μ			80 μ	
	Zn	Al	Sn	Zn	Al
rumvægt (kg/m ³)	7100	2700	7300	7100	2700
kg metal/ton stål	5.7	2.2	5.9	23.0	8.7
dyppetemperatur °K	723	973	588	723	973
energiforbrug kWh/ton stål					
smeltning af metal	0.45	0.6	0.24	2.0	2.6
opvarmning af bad*	45	72	31	45	72
fremstilling af metal**	91	129	50	368	378
opvarmning af stål	64	64	64	64	64
nødvendig varme	109	137	95	111	139
totalt energiforbrug***	247	325	186	524	577

*) ved en karstørrelse på 50 l, en gennemsnitlig k-værdi for karrets overflader på 5 W/°Cm² og en produktion på 1 ton galvaniserede produkter pr. døgn.

**) med et ASF for Zn, Al og Sn på h.h.v. 16000 kWh/ton, 60000 kWh/ton og 8500 kWh/ton jvf. afsnit 3.6.5.

***) her er regnet med en effektivitet ved opvarmning af smeltebad og stål på 0.7.

Tabel 3.6.1.10:
Energiforbrug ved "varmeforzinkning" af
1 mm tyk stålplade på begge sider [76.3].

Wh/m ²	rensemetode	normal lagtykkelse	emnetykkelse 2 mm	emnetykkelse 20 mm
spray-metode	sandblæsning	80 μ	49	49
varmeforzinkning	syreaffedtning 0	80 μ	850	8090
zink-sulfatbad elektro galvaniseret	elektrolytisk aff. 50 - 400	25 μ	1330	1330
zink-sulfatbad med badtemperatur 65%	elektrolytisk aff. 50 - 400	25 μ	1345	1385
zink-flourborat high-speed-galvanisering	elektrolytisk aff. 50 - 400	25 μ	12500	12500

Tabel 3.6.1.11:
Nødvendigt energiforbrug ved forzinkning
pr. m² overflade med forskellige metoder
og ved normale lagtykkelser [76.3].

I Danmark er en meget stor del af det forzinkede stål fremstillet ved varmforzinkning. Elektrogalvanisering anvendes fortrinsvis ved galvanisering af møtrikker og bolte. Også i udlandet er varmforzinkningen foretrukket. Størstedelen af vores import af galvaniseret stål kommer fra England som galvaniserede rør. Transportenergiforbruget svarer da til transporten af valset stål til de danske galvaniseringsanstalter.

Som en grov værdi kan galvaniseret stål altså gives et tillæg udover energiforbruget for valset stål på 600 kWh/ton.

Af tabel 3.6.1.10 kan MSF udtrages som ~400 kWh/ton, mens FSF gives værdien 50 kWh/ton.

ASF	MSF	FSF
8970	4100	1300

Tabel 3.6.1.12:

Energiforbrug for galvaniseret stål (kWh/ton).

ASF	MSF	FSF
9950	4550	1470

Tabel 3.6.1.13:

Energiforbrug for galvaniseret svejst stål.
(kWh/ton)

3.6.2 Aluminium

Aluminium fremstilles i dag næsten udelukkende af bauxit, et meget aluminiumilteholdigt mineral (40-60% Al_2O_3). Mineralen renses ved hjælp af ætsnatron og bundfældningsprocesser, hvorved der til slut udskilles $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Ved en varmebehandling frigøres vandet og det rene aluminiumilte bruges som råmateriale i en elektrolyse.

Der findes imidlertid mange Al-mineraler i overfladejord og -sand, men i meget ringere koncentration, således at det er uøkonomisk at udvinde aluminium af disse materialer.

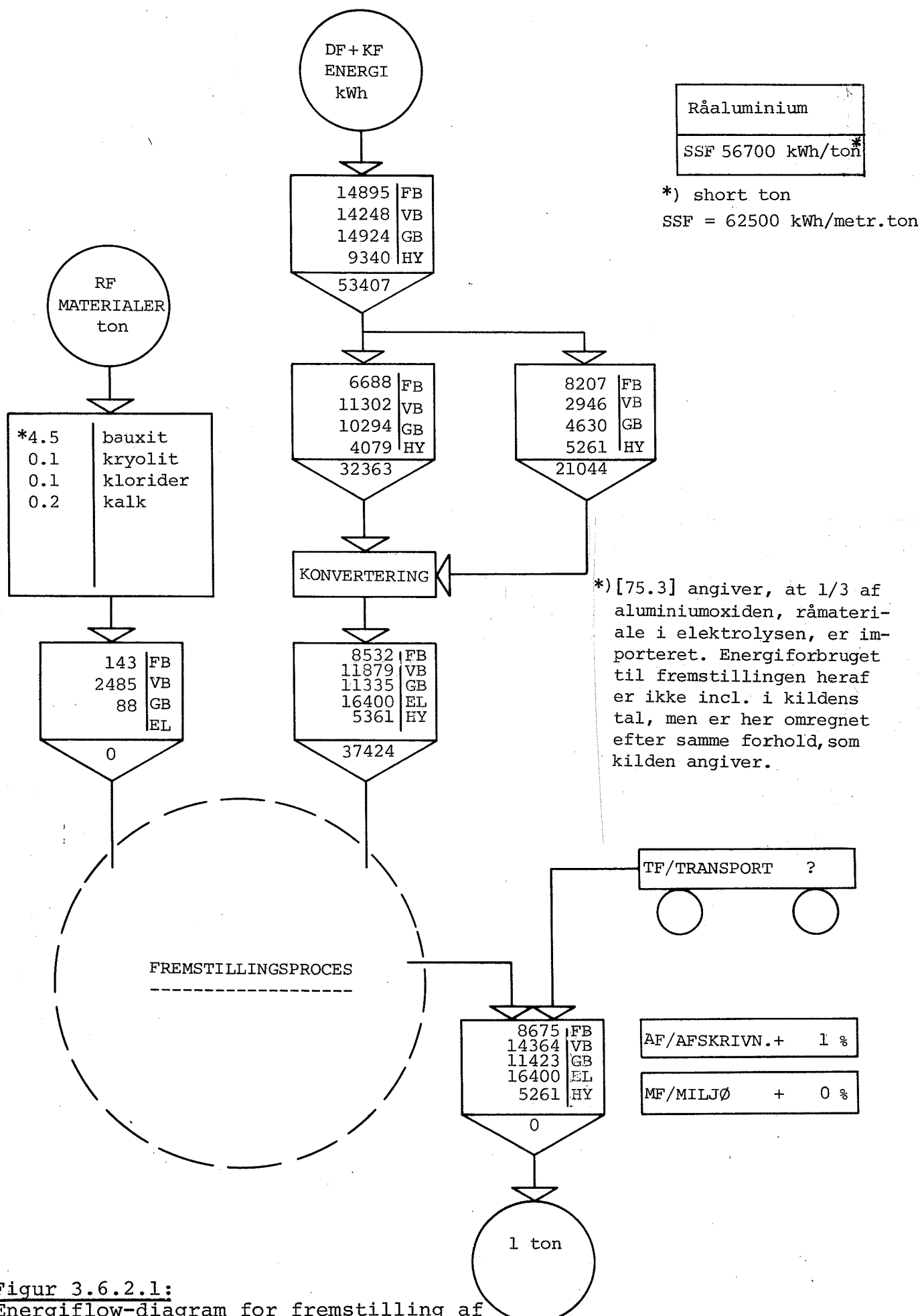
I elektrolysen udskilles aluminium og kuldioxid, idet der anvendes kulanode og aluminiumkatode (flydende) i et bad bestående af Al-ilte og smeltet kryolit.

[77.0] angiver et procesnettoforbrug pr. ton færdigbehandlet aluminium på 33400 kWh/ton og et bruttoforbrug på 78500 kWh/ton aluminiumblokke (støbte), hvoraf alene de 54000 kWh/ton går til elektricitet i elektrolysen. Dette tal synes at være meget højt. [75.3] angiver for samme elektricitetsbehov et energiforbrug (16400 kWh elektricitet/ton) på 37360 kWh/ton.

Forskellen hidrører fra den kendsgerning, at mange elektrolyse værker ligger i umiddelbar nærhed af vandkraftværker, hvor de som fast aftager af elektricitet hjælper at udjævne forbruget af el.

Konverteringsfaktoren for el fra vandkraft er af størrelsesordenen 1.2 - 1.3, hvorved det totale energiforbrug [75.3] sænkes i forhold til [77.0].

Benyttes råvaresammensætningen som den er vist i figur 3.6.2.2 kan en vægtet værdi for energiforbruget til fremstilling af aluminium bestemmes. Dette er gjort i tabel 3.6.2.1.



Figur 3.6.2.1:
Energiflow-diagram for fremstilling af
råaluminium af bauxit i U.S.A. Kilde: [75.3].

	specifikt energiforbrug	bidrag til energiforbrug
485 kg råaluminium	62.5	30300
465 kg skrot	0.5	250
20 kg legeringsmetal	35.0*	700
1000 kg smeltet, støbt	1.6	1600
1000 kg forarbejdet	7.3**	7300
544 kg færdig aluminium		40150

*) Her er anvendt et gennemsnit for primære metaller, fortrinsvis kobber og nickel.

**) [77.0] angiver for valsning/støbning et energiforbrug på 7300 kWh/ton.

Tabel 3.6.2.1:

Energiforbrug til fremstilling af aluminium i U.S.A [75.3].
(kWh/ton forarbejdet aluminium).

Et afgørende punkt er størrelsen af skrot-andelen i aluminiumsproduktionen, nærmere betegnet andelen af gammelt, genindsamlet skrot skrot. Af figur 3.6.2.2. ses at denne andel andrager ca. 11% og at den interne skrotprocent er ca 80% af de udefra tilførte råmaterialer i videreforarbejdningen af råaluminium.

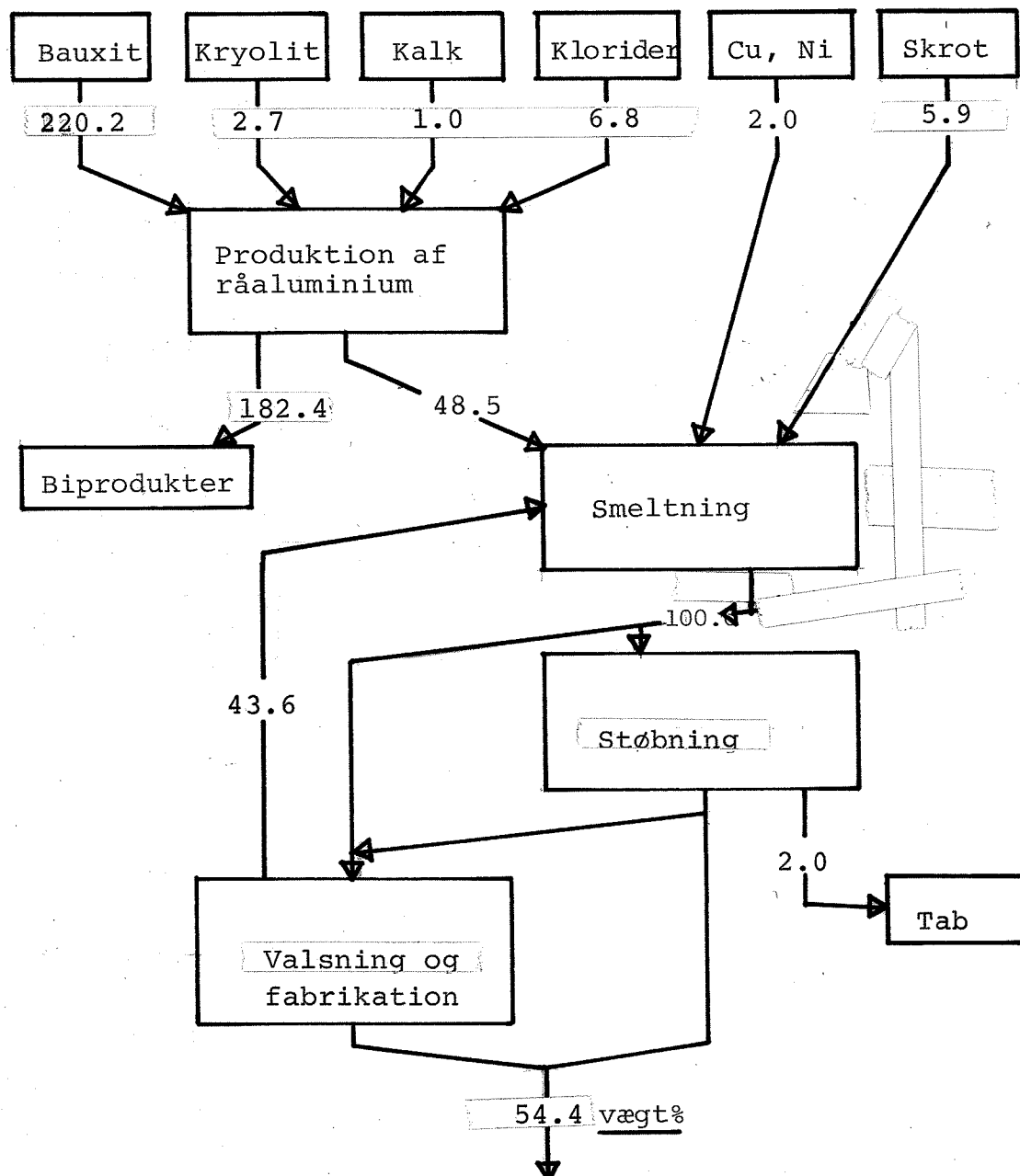
Andelen af gammelt skrot vil variere fra land til land. Den angives i [74.3] til 30% for aluminiumsforbruget i England og ca. 20% for det amerikanske aluminiumsforbrug. De repræsentative værdier for energiforbruget til fremstilling af aluminium alene af skrot og alene af "malm" sættes i samme kilde til 3000 kWh/ton h.h.v. 80000-90000 kWh/ton.

Kilde	[74.3]GB	[74.3]USA	[75.2]USA
Gammelt skrot	30%	21%	11%
	64500	71700	73800

Tabel 3.6.2.2.:

Energiforbrug til fremstilling af aluminium afhængigt af oprindelseslandet (kWh/ton). Tallet for GB er repræsentativt for både egen produktion og importeret aluminium.

Der vælges i det følgende at regne med en andel for gammelt skrot på 25%, skønnet ud fra den forventede udvikling i [74.3]*. Dette svarer til et energiforbrug på ca. 64500 kWh/ton uden hensyntagen til transport og afskrivning.



Figur 3.6.2.2: Materialeflow i den amerikanske aluminiumsproduktion 1970. Kilde [75.3] + [77.0].

Næsten al aluminium, der bruges i Danmark importeres som færdigvarer og over halvdelen af importen i 1974 af bygningsaluminium leveres af Norge, en stor del af Sverige og resten af importen fordeler sig på U.S.A., Schweiz, Vesttyskland og Frankrig [77.2]. Alle disse lande har vandkraftanlæg.

For transport fra Norge eller Sverige fås med en gennemsnitlig transportafstand på 800 km med tog/skib et transportenergiforbrug på 120 kWh/ton. I Danmark sker transporten med lastbil og kan efter data som beskrevet i afsnittet om transport udregnes til 80 kWh/ton. (Aluminium tillægges samme transportmønster som forarbejdede glasvarer).

*) I 1976 var 23% af aluminiumsproduktionen i EF og EFTA-landene baseret på gammelt skrot [78.1].

Til bestemmelse af MSF og FSF angiver [77.0] ΔH -værdier for de isolerede processer som 8110 kWh/ton Al for elektrolysen og 1025 kWh/ton Al for uddrivning af krystalvand ialt 9135 kWh/ton.

De andre isolerede procestrin er alle varmeudviklende eller kræver ingen varmetilskud. Til udvinding af bauxit kræves der 1650 kWh/ton Al. Med tilsvarende effektivitetsfaktor som benyttes for transport bliver FSF-bidraget 165 kWh/ton.

Benyttes endelig den maksimalt mulige skrotandel (55% gammelt), og tillægges skrot analogt til afsnit 3.6.1.1 en FSF-værdi på 100 kWh/ton fås alt i alt FSF = 4700 kWh/ton.

[77.0] beskriver endvidere varmetabenes art og størrelse igennem fremstillingsprocesserne. Tages de varmetab, der med en forbedret teknologi kunne formodes at blive forhindret, ud, fås et genvindeligt varmetab af størrelsesordenen 38500 kWh/ton Al.

Dette resulterer i et nettoforbrug for primær aluminium 45000 kWh/ton. En tilsvarende værdi for skrotbaseret aluminium har ikke kunnet bestemmes, men sættes til 2000 kWh/ton, hvilket giver en MSF-værdi på 21400 kWh/ton.

ASF	MSF	FSF
65300	22000	4700

Tabel 3.6.2.3:

Energiforbrug til fremstilling af forarbejdet aluminium (kWh/ton).

3.6.3 Kobber

Kobberfremstillingen i U.S.A. sker fra meget magert svovl- og jernholdigt malm med kun ca. 1% indhold af kobber. Denne malm renses ved flotation, en bundfældningsteknik, for ikke-kobbermalme, hvorved man kan opnå et kobberkoncentrat, der indeholder ca. 25% kobber.

I en flammeovn afbrændes svovlet i denne blanding og et 30-60%-koncentrat, kaldet matte, går herfra videre til oxydering i en konverter. Denne ilter jern- og svovlurenheder væk og efterlader et 98-99% kobberkoncentrat. De oxiderede urenheder fjernes som gasser, der må gennemgå en rensningsproces for at kunne ledes ud i atmosfæren.

Kobberkoncentratet raffineres elektrolytisk, idet det urene kobber placeres som anoder i det elektrolytiske bad og det rene kobber udskilles på katoden. Katoden sendes så enten direkte til valseværker eller smeltes og udstøbes til blokke.

(kWh/ton rå Cu)	Undersøgelse 1	Undersøgelse 2
råstofudvinding	6955	10600
flotation m.m.	16425	23010
smeltning (flammeovn)	8560	9520
oxydering	1890	780
anodefremstilling	1420	620
elektrolyse	2440	2920
støbning af blokke	625	975
miljøbestemt renseproces	740	705
	39050	49130

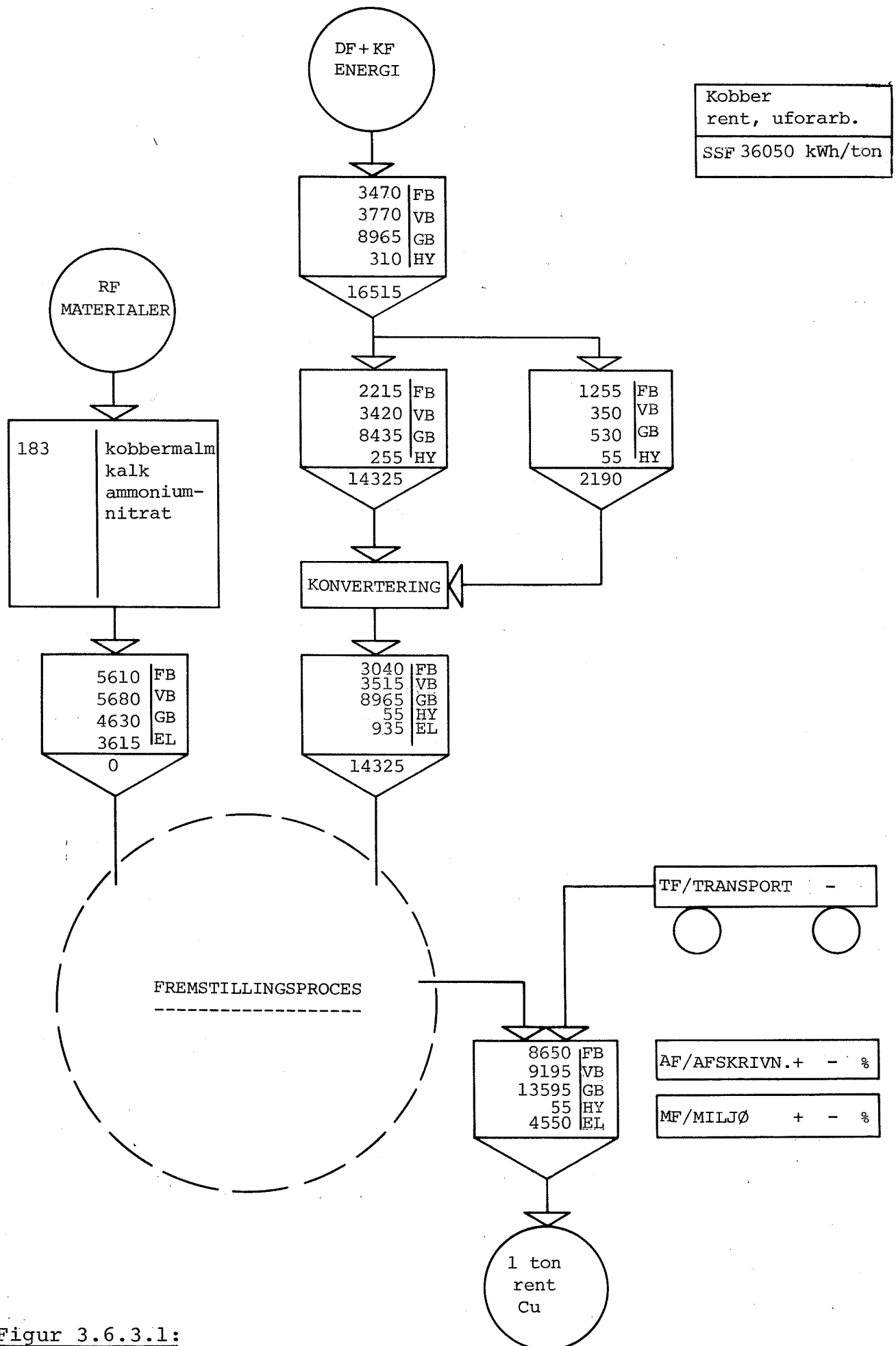
Tabel 3.6.3.1:

Energiforbrug ved kobberproduktion, U.S.A. [77.0].

Data for de aktuelle procestrin for to forskellige undersøgelser er angivet i tabel 3.6.3.1.

Forskellen mellem de to angivelser ligger hovedsageligt i råstofudvindingsprocessen og i bundfældningstrinet, hvilket kan hænge sammen med malmens sammensætning.

Malmen i Europa, Afrika og Sydamerika er ikke så mager som den i U.S.A. og det nedsætter energiforbruget i disse to behandlingstrin.



Figur 3.6.3.1:
Energi-flow-diagram for fremstilling af amerikansk kobber [75.3].

[75.1] angiver for England i 1974 følgende forbrug til fremstilling af kobber:

kobber af malm	20000 kWh/ton Cu
kobber af skrot	2500 kWh/ton Cu
gennemsnit for England	12750 kWh/ton Cu

[75.3] angiver for U.S.A. i 1970 et forbrug til fremstilling af kobber af malm på 36050 kWh/ton, mens [74.2]* angiver 8000 kWh/ton for Sverige.

Det ses, at der er stor uoverensstemmelse i de forskellige størrelser.

Vi importerer stort set alt kobber, hovedsageligt i form af kobbertråd, rør og stænger, altså valserede produkter fra Sverige, Vesttyskland, Belgien og England (1974: ~20000 tons). Halvdelen leverer vi igen tilbage i form af skrot til Vesttyskland.

Idet [75.3] påpeger, at den britiske produktion af kobber i højere grad er baseret på skrot end i andre lande, må det antages, at det aktuelle forbrug af energi - gældende for det kobber, vi importerer - er noget højere end det engelske tal.

De amerikanske tal er heller ikke repræsentative p.g.a. malmens specielle egenskaber.

Der vælges i det følgende at benytte de engelske tal med en ændret skrotandelen nemlig 30%** mod ~40%. Antages videreføringsforbruget af kobber at kræve samme energiforbrug som angivet i [77.0], 3000 kWh/ton kan ASF udregnes til 18700 kWh/ton for forarbejdet kobber (jvf. tabel 3.6.3.2).

(kWh/ton)

Fremstilling af rå kobber	15600
Forarbejdning af kobberet	3000
Transport	900
Afskrivning ~0%	0

Ialt	19500
------	-------

Tabel 3.6.3.2:

Energiforbrug ved fremstilling af forarbejdet kobber (ulegeret).

*Denne kilde er meget summarisk i sin fremstilling og må ikke tillægges nogen afgørende vægt.

**) Af [78.1] kan uddrages, at 24% af den totale kobberproduktion i EF og EFTA i 1976 var baseret på gammelt skrot.

Til bestemmelse af MSF og FSF er der ingen data i de benyttede kilder. Som en tilnærmelse bestemmes MSF og FSF derfor ud fra aluminiums MSF- og FSF-værdier, idet forholdet mellem MSF og ASF h.h.v. FSF og ASF benyttes.

ASF	MSF	FSF
19500	6700	1400

Tabel 3.6.3.3:

ASF, MSF og FSF for forarbejdet aluminium (kWh/ton).

Disse værdier må tillægges en noget større usikkerhed end normalt, antagelig $\pm 25\%$.

3.6.4 Zink og andre metaller

Andre former for metaller forekommer sjældent eller i ret små mængder i byggematerialerne og bliver derfor behandlet ret summarisk her.

De mest troværdige kilder er her udvalgt til angivelse af en tilnærmelsesværdi for ASF og MSF for forskellige metaller, som er gengivet i tabel 3.6.4.1.

Metal	Rumvægt ton/m ³	Råmateriale	ASF		MSF
			[77.0]	[75.1]	
zink, Zu	7.14	zinkmalm	19400	20000	<u>10500</u>
		skrot	5050	2500	<u>2500</u>
		malm og skrot	<u>12000</u>	<u>12000</u>	<u>6500</u>
bly, Pb	11.34	blymalm	8600	15000	<u>6000</u>
		skrot	3450	2000	<u>2000</u>
		malm og skrot	<u>7000</u>	<u>7000</u>	<u>4000</u>
titanium, Ti	4.50	TiO ₂	87000	-	-
silicium, Si		kvarts	68000	-	-
magnesium, Mg	1.74	havvand	106000	-	-
nickel, Ni	8.90	ferronickel-malm	-	130000	-

Tabel 3.6.4.1:

Energiforbrug til fremstilling af råmaterialer (kWh/ton).

(De understregede tal er skønnede).

Disse metaller anvendes alle til legering af både stål, aluminium og kobber, omend normalt i ringe mængder, 0-3%.

For kobberets vedkommende kan der være tale om over 10% indhold af zink.

FSF sættes her generelt til 15% af ASF.

3.6.5 Litteraturliste

- [73.0] H.D. Pantke m.fl.:
"PUROFER - TECHNISCHE ANVENDUNG
DER DIREKTREDUKTION"
Stahl und Eisen nr. 5,
Vesttyskland 1973
- [74.0] P. Bourrelrier, R. Hamalin:
"MARERIAUX ET ENERGIE"
Annales des Mines,
Frankrig, maj-juni 1974
- [74.1] R.S. Berry, H. Makino:
"ENERGY THRIFT IN PACKAGING AND
MARKETING"
Technology Review, Vol. 76, No. 4
U.S.A. 1974
- [74.2] "ENERGIFORSKNING, BYGGSEKTORENS
ENERGIANVÄNDNING"
Särtryck ur SOU 1974:74 och
SOU 1974:76, Industridepartementet
Sverige 1974
- [74.3] P.F. Chapman:
"ENERGY CONSERVATION AND
RECYCLING OF COPPER AND
ALUMINIUM"
Metals and Materials,
England, juni 1974
- [75.0] Hans G. Pöttken m.fl.:
"AUSWIRKUNGEN DER STRUKTUR EINES
UNTERNEHMENS AUF SEINE ENERGIE-
WIRTSCHAFT UNTER BESONDERER BERÜCK-
SICHTIGUNG DER ENERGIEAUSNÜTZUNG"
Stahl und Eisen nr. 3,
Vesttyskland 1975
- [75.1] P.F. Chapman:
"THE ENERGY COST OF MATERIALS"
Energy Policy,
England, marts 1975
- [75.2] Stahl und Eisen nr. 23, p. 1138
Vesttyskland 1975
- [75.3] "THE DATA BASE. THE POTENTIAL FOR
ENERGY CONSERVATION IN 9 SELECTED
INDUSTRIES"
Vol. I + III
Office of Industrial Programs,
U.S.A. 1975
- [76.0] H.K. Mommertz:
"ENTWICKLUNG IN DER WALZTECHNIK"
Stahl und Eisen nr. 18,
Vesttyskland 1976

- [76.1] "STATISTIKKEN"
Stahl und Eisen nr. 15,
Vesttyskland 1976
- [76.2] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [76.3] Michael Clarke:
"ENERGY CONSUMPTION IN FINISHING
PROCESSES"
Dept. of Metallurgy and Materials
City of London Polytechnic,
England 1976
- [77.0] "PRACTICAL TECHNIQUES FOR SAVING
ENERGY IN THE CHEMICAL, PETROLEUM
AND METALS INDUSTRIES"
Chemical Technology Review No. 90
U.S.A. 1977
- [77.1] Finn Andersen m.fl.:
"STÅLPRODUKTION I DANMARK"
Instituttet for Metallære, DTH
Kursusarbejde, Danmark juni 1977
- [77.2] "VARE- IND- OG UDFØRSEL"
Statistiske Meddelelser
Danmarks Statistik 1977
- [77.3] N.A. Kilde, Prod.Chef., DDS:
"---SAMTALE, DDS, FREDERIKSVÆRK"
Danmark, november 1977
- [78.0] "VARESTATISTIKKEN FOR INDUSTRIEN
1975-1977"
Danmarks Statistik 1978
- [78.1] Statistical Yearbook 1977
UN-publications 1978

3.7. TRÆ

3.7.0 Generelt

Dette afsnit om træ er behandlet mere indgående end de andre afsnit, idet der er gået mere ind i selve forarbejdningsprocesserne. Baggrunden herfor er, at der øjensynlig i litteraturen er så forskelligartede og vage angivelser af energiforbrug til fremstilling af konstruktionstræ.

Dette skyldes nok først og fremmest en manglende nuancering mellem de forskellige former for konstruktionstræ, men også manglende skelnen mellem energiforbrug og olieforbrug.

Det sidste kommer særligt frem i træindustrien, der i stor udstrækning benytter træaffald som brændsel.

[73.1]	[72.0]	[74.0]	[74.1]	[75.3]	[75.2]	[76.3]
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

6**	70	100	220	400-630	1080	5500*
-----	----	-----	-----	---------	------	-------

*)incl. træets brændværdi $\sim 1950 \text{ kWh/m}^3$.

Træforbrug til 1 m^3 bygningstræ $\sim 2 \text{ m}^3$ bygnings-

træ (kWh/m^3). Efter forskellige kilder.

**)Rundtømmer.

Tabel 3.7.0.1:

Energiforbrug til fremstilling af bygnings-træ (kWh/m^3). Efter forskellige kilder.

Træ til bygningsbrug er stort set nåletræ og hovedsageligt fyrretræ importeret fra Sverige, Norge eller Finland (se tabel 3.3.6.3).

Ind under bygningstræprodukter hører:

- tømmer, planker
- brædder, lægter
- firhøvlet tømmer
- høvlede brædder, lægter
- profileret træ, karmtræ
- lamineret tømmer
- finér
- lamineret finer (plywood, krydsfinér)
- spånplader
- papir og pap

For at kunne beskrive energiforbruget i produktionen af disse træprodukter, må man se på de grundlæggende processer:

1. Savskæring
2. Trætørring
3. Spåntagende processer
4. Fibermateriale
5. Limning
6. Imprægnering

3.7.1 Savskæring

Savskæring betegner her opskæring af træemner af rundtræ og dette sker udelukkende på savværker.

Opskæringen kan foregå, mens træet endnu er friskt og kræver - i modsætning til høvling - ikke at træet er fortørret.

Behandlingsprocessen kan deles i:

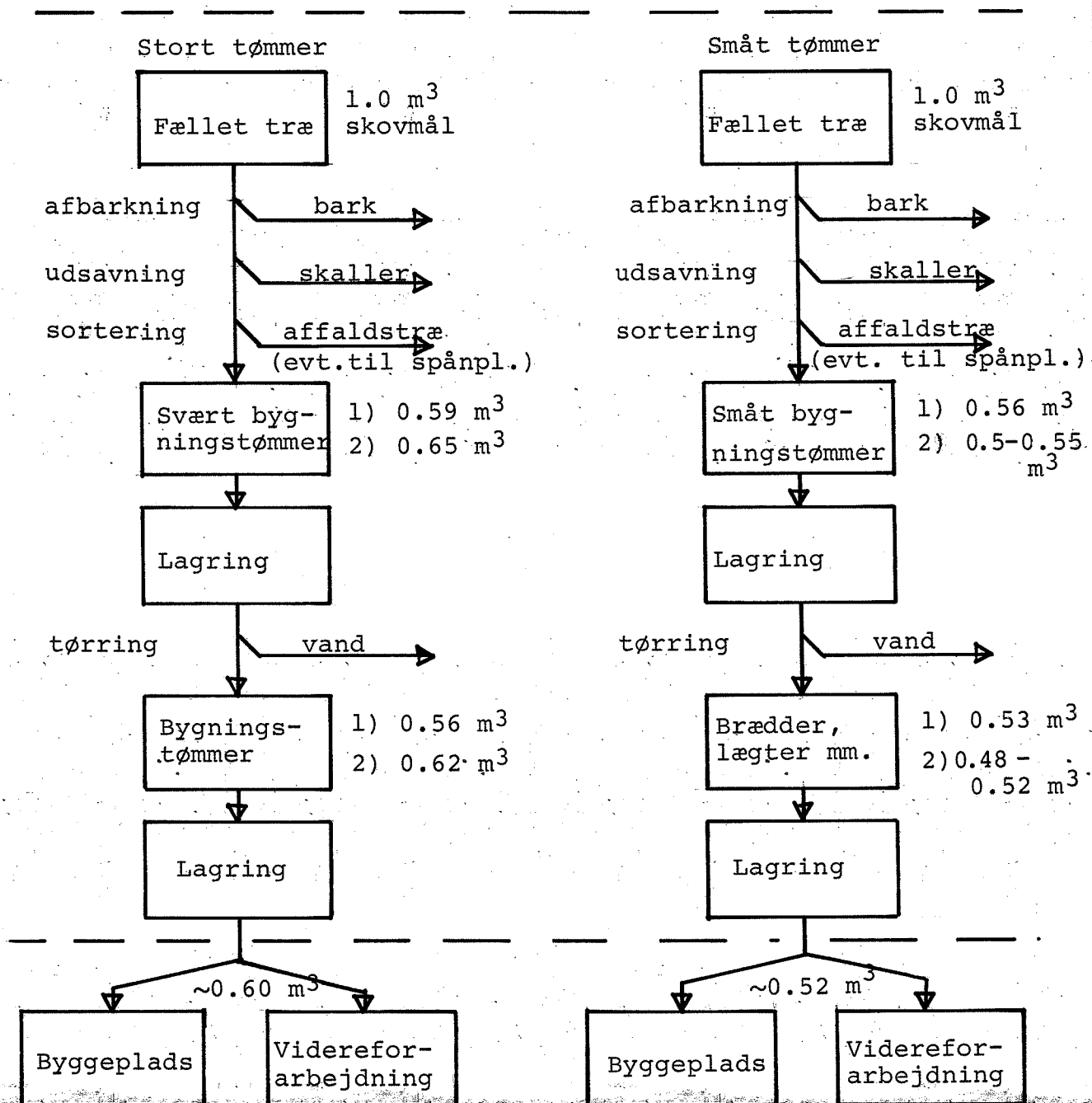
- opdeling af stammelængden efter træets kvalitet
- afbarkning af stammer
- opskæring til stort tømmer
- sortering
- opskæring til småt tømmer
- sortering
- lagring

I dette behandlingsforløb er der ret stort spild af materiale. Figur 3.7.1.1, side 97 angiver tal for udnyttelsesgraden af træstammerne for forskellige træarter og slutprodukter.

Det ses, at efter opskæringsprocesserne er der udnyttet 60%, henholdsvis 52% af nåletræet til stort tømmer og småt tømmer. Resten af træmassen anvendes enten til brændsel eller cuttes til spåner, som sælges til spånplade industrien.

Energiforbruget til savning kan ikke entydig fastlægges, idet slutproduktet kan være både tømmer, spåner eller brændsel. Der vælges her, at tillægge spildtræet et energiforbrug lig nul og ikke regne træets brændværdi med i materialets energiforbrug.

I træindustrien anvender man ofte affaldstræ som brændsel i de interne fyringsanlæg. I sådanne tilfælde må man stadig tillægge affaldstræet energiværdien nul som materiale, men regne med dets nedre brændværdi som brændsel.



Figur 3.7.1.1:

Materialeflow i savværket.

Kilder : 1) Oplysninger fra et Nordjysk savværk
2) [59.0]

Professor B. Thunell, S.T.F.I., Stockholm, angiver et gennemsnitligt elforbrug til savning på 23 kWh/m³ tømmer svarende til et energiforbrug på 67 kWh/m³ tømmer.

Dette forbrug dækker savemaskinernes elforbrug. Derudover er der et internt transportarbejde som svinger meget fra savværk til savværk i størrelse. Da det ikke har været muligt at skaffe oplysninger om dette forbrug, skønnes en gennemsnitsværdi på 10 kWh/m³.

	ASF	MSF	FSF
savning	63	52	23
transport, internt	10	5	1
afskrivning - 5%	3	2	-
tømmer	76	59	24

Tabel 3.7.1.1:

Energiforbrug i savværk (kWh/m³ tømmer).

3.7.2 Trætørring

I frisk tilstand indeholder nåletræ mellem 50% og 150% vand (træfugtigheden er 50 - 150%), i gennemsnit 80%.

Lader man træstammerne ligge i skoven vil det frie vand i tæt efterhånden fordampe og træfugtigheden falder ned til ca. 30%.

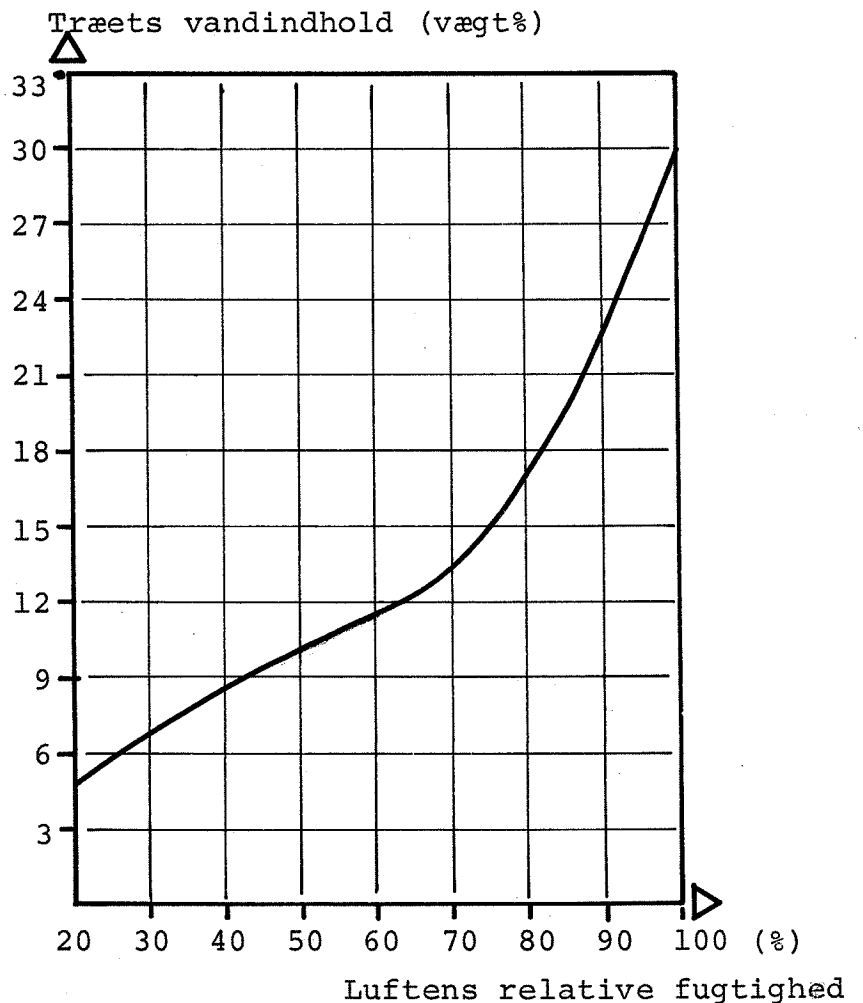
Savet træ, der oplagres i det fri uden jordkontakt, vil opnå en ligevægtsfugtighed på 18-25% efter længere tid og er træet overdækket med f.eks. en presenning, vil det indstille sig på en ligevægtsfugtighed 16-20%.

Hensigten med tørringen er at bringe træet ned på den ligevægtsfugtighed, som det skal indstille sig på på anvendelsesstedet.

*) Træfugtigheden måles i % som forholdet mellem differensvægten af fugtigt og tørt træ og tørt træ.

$$\text{Træfugtigheden } \varphi = 100 \cdot \frac{w - w_{\text{tør}}}{w_{\text{tør}}}$$

Ligevægtsfugtigheden afhænger af den omgivende lufts relative fugtighed (jvf. figur 3.7.1.2).



Figur 3.7.2.1: Eksempel på en sorptionskurve for nåletræ ved 20°C.

Sammenhæng mellem træets vandindhold og luftens relative fugtighed i ligevægts-situationen.

Ved opbevaring i det fri vil ligevægtsfugtigheden af træet derfor variere med årstiden (se tabel 3.7.1.2).

°	jan.	febr.	marts	april	maj	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
	21	20	19	18	15	15	16	17	19	20	21	22

Tabel 3.7.2.1 (kilde [69.1]):

Ligevægtstræfugtighed i det fri efter årstiden.

Ligevægtsfugtigheden på anvendelsesstedet vil typisk ligge omkring 4 niveauer og desuden kræves til specielle limproduktioner et noget lavere fugtindhold.

Der kan således opstilles 5 tørringsniveauer:

1. Limningstørt. 4-5% fugtindhold
(spåner, lamineret træ).
2. Indendørs træ. 8-10% fugtindhold
(indvendige vægge m.m.).
3. Træ i facade og tag. 14-16%
(bærende konstruktioner).
4. Udendørs træ. 18-30% fugtindhold
(udendørs beklædning).
5. Træ med jordkontakt. 18-100%
(pæle m.m.).

For at opnå disse fugtindhold kan man benytte sig af enten en kombination af friluftstørring/kunstig tørring, en kombination af forceret friluftstørring/kunstig tørring eller alene en kunstig tørring.

Friluftstørringen sker ved at lagre træet i savet tilstand i overdækkede lagre i længere tid, hvorved man, som før nævnt, kan opnå en træfugtighed på 15-22%. Lagringsperioden kan forkortes ved at benytte sig af den forcerede friluftstørring, hvor man udsætter det oplagrede træ for en tvungen luftbevægelse v.h.a. ventilatorer. Desuden kan man i vinterperioden regulere luftens relative fugtighed til en fast værdi ved at forvarme luften.

Ved den kunstige tørring stables træet i savet tilstand i tætte tørrekamre. Herefter udskiftes luften i kammeret med en vis hastighed og den indblæste luft reguleres både m.h.t. temperatur og relativ luftfugtighed eller fastlagte tørreskemaer.

Varmeforbruget ved den kunstige tørring kan været ret betragtelig. [69.1] angiver varmemeforbruget for forskellige anlægstyper i kcal/kg udtørret vand (se tabel 3.7.2.2).

kcal/kg vand	kammer tørrestue		kanaltørre- anlæg uden genvinding		kanaltørre- anlæg med genvinding		højtemperatur tørring		højfrekvens tørring [500]
	sommer	vinter	sommer	vinter	sommer	vinter	sommer	vinter	
opvarmning af træ	16.0	27.6	16.0	27.6	16.0	27.6	11.8	18.1	(20)
opvarmning af vand	6.2	22.3	6.2	22.3	6.2	22.3	4.6	19.2	(15)
frigørelse af bundet vand	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	(5)
fordamp. og opvarm. af vand	593	698	591	696	591	696	621	726	(600)
opvarmning af luft	155	446	144	346	48	109	12	46	-
varmetab	111	255	41.3	94	41.3	94	4	4.2	-
opvarmningstab	37.4	65	2.1	3.5	2.1	3.5	4.7	8	1160
	924	1517	806	1194	908	958	662	826	1800*)
kWh/kg vand	1.07	1.76	0.94	1.39	1.06	1.11	0.77	0.96	6.06

*) Elektricitet

Tabel 3.7.2.2:

Tørring af svensk fyrretræ fra frisk til-
stand til skibningstørt træ efter [69.1].

Det ses, at det aktuelle varmemeforbrug kan variere fra 662 kcal/kg vand til 1577 kcal/kg vand.

En helt anden tørremetode er kondensationsmetoden. Træet lukkes ved denne metode helt lufttæt inde i tørrekammeret og rummets luft cirkuleres rundt i kammeret v.h.a. en ventilator og drives gennem en kondensator under tryk, hvorved dampen i luften kondenserer og afgiver varme. Denne varme overføres til luften igen efter at den har passeret kondensatoren.

Dette "varmepumpesystem" udnytter således kondensationsvarmen, som ved de andre metoder går tabt, men den kræver et større elforbrug på grund af kondensatoren og de anlæg, der indtil i dag er afprøvede, har ikke vist sig at være mere energiøkonomiske, end andre anlæg, mest fordi tørringstiden forlænges og fordi alle aggregater er el-drevne. En bedre teknologi/udvikling kan tænkes at ændre dette forhold.

Fra et sydjysk savværk er der oplyst følgende elektricitetsforbrug til tørring for kammertørremetoden og for kondensatortørremetoden (begge elektrisk opvarmede).

1. Kammertørremetoden, 5/4" bølgeemner fra 51-8% træfugtighed, elforbrug 11,95 kWh/m³/‰ H₂O eller et energiforbrug på 5.10 kWh/kg udtørret vand.
2. Kondensationsmetoden, 1" egeemner fra 60%-10% træfugtighed, elforbrug 10,65 kWh/m³/‰ H₂O eller et energiforbrug på 4.60 kWh/kg H₂O.

Begge værdier er hentet fra en vintertørring.

Disse to værdier kan ikke bruges, når det gælder tømmer. Tallene i tabel 3.7.2.2 (side 101) er hentet fra prøvetørringer, der er udført meget omhyggeligt og i praksis ligger energiforbrugene nok højere.

Almindelig tørrepraksis i Sverige er, at man tørrer i to omgange. 1. gang tørres nåletræet fra ca. 80% fugtindhold til 20-25% fugtindhold (skibningstørt), hvorved der fjernes ca. 230 kg vand pr. m³ træ. 2. gang tørres det skibningstørre træ enten her i landet eller i Sverige til det formål det skal anvendes til.

Ifølge tabel 3.7.2.2 kræves der i gennemsnit for de mest anvendte tørremetoder i Sverige, nemlig kammertørrestue og kanal-tørrestue, 1100 kcal varme/kg vand eller med en varmekonverteringskoefficient på 0,85, 1500 Wh/kg vand.

Dette giver for tørring af friskt træ til skibningstørt træ 345 kWh/m³. Her angiver professor B. Thunell ved Svenska Träforskningsinstitutet i Stockholm et gennemsnitligt forbrug i den svenske træindustri på 400 kWh/m³, som nok er mere rimeligt for praktiske forhold.

Endvidere angiver han, at der anvendes gennemsnitligt 20 kWh el pr. m³ nåletræ ~58 kWh/m³. Tørring til skibningstørt svensk nåletræ kræver hermed ~450 kWh/m³.

I de anvendte tørremetoder er det en erfaringsregel, at træfugtighedens procentværdi under tørringen har en halveringstid, således at det tager lige så lang tid at tørre træet fra 80% til 40% som det tager at tørre det fra 40% til 20% og fra 20% til 10%.

Restindholdet skulle ifølge dette følge ligningen:

$$\text{restprocenten} = \varphi_0 \cdot e^{-\beta t}$$

hvor t betegner tørretiden.

Da tabene til omgivelserne og ventilationsenergiforbruget tilnærmelsesvist er proportionalt med tørretiden bliver disse logaritmiske funktioner af forholdet mellem start- og slutfugtighed.

Endvidere vil der ved en afbrudt tørreproces være dobbelt så store tab til opvarmning af træet og kammeret. I store træk angiver [69.1], at man ved tørring fra skibningstørt træ til snedkertørt træ (8-10% træfugtindhold) skal bruge lige så meget varme som ved tørring fra frisk træ til skibningstørt (forholdet 80%/24% og 24%/8% ~3).

B. Thunell angiver endda et forbrug, der er 1½-2 gange så stort. Dette kan hidrøre fra, at man i den sidste del af tørringen ofte benytter sig af forhøjede tørretemperaturer og derved får større tab til luftudskiftning og varmetransmission.

Regnes der her med faktoren 1.5 fås for tørring af skibningstørt nåletræ til snedkørtørt nåletræ et energiforbrug på 675 kWh/m³. For tørring af skibningstørt træ til andre slutfugtprocenter, findes der intet materiale fra industrien, idet man i sådanne tilfælde blot lagrer træet indendørs i opvarmede lokaler.

Der kan være tilfælde, hvor man blot tørrer træet til ca. 15%, så man kan høvle og profilere træet. Hertil skønnes et gennemsnitligt energiforbrug ud fra de ovenfor nævnte tal på 350 kWh/m³.

Da en meget stor del af det nåletræ, vi anvender til bygningstømmer, som tidligere nævnt importeres fra andre nordiske lande, er de opstillede energiforbrug til tørring rimelig anvendelige.

Betragtes tabet i tørringen ved udregning af MSF, som den del af opvarmningsforbruget, der ikke går til fordampning af vandet og frigørelse af bundet vand kan værdier for ASF, MSF og FSF bestemmes.

	ASF	MSF	FSF
tørring fra 80% til 20-25%	450	175	1
tørring fra 20-25% til 15%	350	130	10*)
tørring fra 20-25% til 10%	675	240	20*)

*) Disse værdier er høje p.g.a., at det bundne vand, som er det vand, der er tilbage i træet, når træfugtigheden er ca. 30%, er sværere og sværere at drive ud og derfor kræver mere og mere energi i form af større og større damptryksforskelle i træ og luft.

Værdierne er skønnede.

Tabel 3.7.2.3:

Energiforbrug til tørring af nåletræ
(kWh/m³).

Tørringen af spåner i spånpladeindustrien er ret kraftig, idet spånerne tørres helt ned til 2-5% træfugtindhold.

[77.1] angiver her et forbrug af elektricitet fra 12-29 kWh/m³ spånplade og af brændsel fra 330-570 kWh/m³ (**). I gennemsnit et forbrug på $(16 \cdot 2.9 + 400)$ kWh/m³ ~ 445 kWh/m³ spånplade ~ 250-300 kWh/m³ spåner.

**) De højeste tal er for en lidt atypisk produktion.

Tørring af finér er beskrevet i [76.0] ud fra 4 prøvetørringer af douglas-fyrfinér. Det gennemsnitlige varmeforbrug er for de fire tørremetoder opgjort til

- fordampningsvarme	510 kWh/ton finér
- opvarmning af finér	55 kWh/ton finér
- opvarmning af ventilationsluft	220-375 kWh/ton finér
- tab til omgivelserne	65-130 kWh/ton finér
- Ialt:	850-1070 kWh/ton finér

Som en tilnærmelse kan ASF, MSF og FSF sættes til h.h.v. 950 kWh/t, 565 kWh/t og 180 kWh/t*) eller 430 kWh/m³, 225 kWh/m³ og 80 kWh/m³).

Materialesvindet antages at være 10% fra tørret finér til krydsfinérplader, hvorved de ovennævnte tal bliver 475 kWh/m³ krydsfinér, 285 kWh/m³ krydsfinér og 180 kWh/m³ krydsfinér.

Elforbruget til ventilatorer kan antages at være af samme størrelse som ved tørring af spåner, d.v.s. ~20 kWh el/m³ finér eller 50 kWh/m³ finér.

3.7.3 Spåntagende processer

Høvlingsprocessen kan først ske efter at tømmeret er tørret til en træfugtighed på 14-16% ellers ødelægges overfladefibrene ved høvlningen.

DS 1002 angiver de standardiserede mål for høvlet træ og rettet og høvlet træ. Træspildprocenten ved dimensionsformindskelsen kan regnes ud herfra og er angivet i tabel 3.7.3.1.

[77.1] angiver et energiforbrug til spåntagende processer på 90 kWh/m³ fråhøvlet træ. Regnes det gennemsnitlige træspil at være 12% ved stort tømmer og 16% ved småt tømmer fås et forbrug til høvling af stort tømmer og småt tømmer på h.h.v. 10.8 kWh/m³ og 14.4 kWh/m³.

*) [76.0] angiver et forbrug til fordampning af vand på 510 kWh/ton finér svarende til 510 kWh/0.53 ton vand (60% fugtindhold). Dette giver en genvindingsmulighed af fortætningsvarmen på $530 \cdot 0.70$ kWh/ton finér = 330 kWh/ton finér.

Profilering af træ fjerner alt efter profilttype forskellige andele af træet, men vil her blive ækvivaleret med en ekstra høvlning.

tømmer mm ²	høvlet træ mm ²	spild %	rettet og høvlet mm ²	spild %
150 x 150	145 x 145	6,6	142 x 142	10,4
100 x 100	95 x 95	9,9	93 x 93	13,5
100 x 50	95 x 45	14,5	93 x 44	18,2
125 x 32	120 x 28	16,0	117 x 27	21,0
100 x 25	95 x 22	16,4	93 x 21	21,9
50 x 25	45 x 22	20,8	44 x 21	20,8

Tabel 3.7.3.1:

Materialespild i forbindelse med høvling af tømmer.

Skrælning af hele træstammer benyttes til fremstilling af finér. Finér fremstilles i enkelte tilfælde ved savning, men dette sker hovedsagelig i møbelfinérindustrien.

Forud for skrælningen koges træstammerne, som kan have længder fra 2 til ca. 5 m, hvorved fibermassen i træet blødgøres og skrælningen lettes herved.

[66.0] angiver for skandinavisk fremstillet krydsfinér et forbrug af elektricitet på 170 kWh pr. m³ krydsfinér, hvoraf den største del anvendes til tørring.

Bruges [77.1]'s angivelse af energiforbruget til spåntagende processer, kan det mekaniske arbejde ved skrælningen sættes til 90 kWh/m³ finér ~100 kWh/m³ krydsfinér.

3.7.4 Fiber-materiale

Fiberproduktion er grundlaget for både papir- og fiberpladematerialer. Træet førbehandles indledningsvis, idet det dampes, hvorved bindestoffet i træet blødgøres. På dette tidspunkt er råmaterialet, som er hele stammer, hakket til spåner på 10-40 mm's længde.

Efter dampningen formales fibrene i en mekanisk formalingsproces til fibermateriale, hvorved den specifikke overflade af træet forøges 100.000 gange.

I papirfremstillingen er fibrene endnu finere formalet. Ved disse processer frigøres en del af træets indhold af bindestoffet hemicellulose, mens cellulose- og ligninindholdet bibeholdes. Således angiver [67.0], at for fyrretræ udvaskes 13% materiale ved optimale processer, normalt større mængder.

Fibrene opløses nu i strømmende vand, som ledes hen over et sigte. Her sedimenterer fibrene samtidigt med, at vandet trækker bort gennem sigtet.

Denne metode kaldes våd-metoden. Tørmetoden benytter sig i stedet af en luftstrøm, men gennemføres ellers på samme måde.

Der dannes således en måtte af fibre på sigtet, som derefter bliver presset. Måtterne bliver derved afvandede i nogen grad (våd metode) og samtidigt indgår fibrene i kraftige bindinger med hinanden og materialet komprimeres til en mere eller mindre massiv plade. [67.0] og andre kilder angiver energiforbrug ved de forskellige delprocesser som vist i tabel 3.7.4.1.

For halvhårde plader fremstillet efter "Mixolit"-metoden oplyser [67.0] endvidere et energiforbrug på 3470 kWh/ton.

Disse plader kan omtrentligt sammenlignes med de i Danmark kendte KARLIT-plader.

En senere undersøgelse [77.2] tyder på, at energiforbruget i fiberpladeindustrien i dag er noget højere. Dette skyldes nok først og fremmest større anvendelse af elektricitet og skærpede krav til arbejdsmiljø og forurening.

PROCESDEL	KILDE	"ASF"	"MSF"	"FSF"
spåncutning	[77.1]	100	78	~0
dampning	[67.0]	325	260	~0
formaling	[67.0]	650	460	3
tørring af fibre	[67.0]	(160)	(120)	(~0)
varmpresning	[67.0]	1425 (485)	915 (270)	80 (80)
klimalisering	[67.0]	220	~0	~0
internt transport m.m.	[66.0]	525	410	50
1.15 ton træ	[67.0]	70	35	7
0.03 ton lim*	[67.0]	75 (150)	35 (75)	7 (15)
ialt for vådmetoden:		3390	2195	147
ialt for tørmetoden:		2505	1710	155

Fodnote: Tallene i parentes gælder for tørmetoden.

*) Normalt anvendes en phenolformaldehyd.

Tabel 3.7.4.1:

Energiforbrug til produktion af hårde fiberplader (kWh/ton plader).

[77.2] angiver således for den svenske fiberpladeindustri et elforbrug på 700 kWh elektricitet/ton plade eller 2030 kWh/ton.

Da vådmetoden i Sverige er den foretrukne, forbruges der derudover olie svarende til 1760 kWh/ton og træbrændsel svarende til 830-1345 kWh/ton.

Det forudses i rapporten, at der ved genvinding umiddelbart kan spares 1100 kWh/ton plader. Det energiforbrug som i dag ligger på 4620-5135 kWh/ton må altså forudses sænket i de nærmeste år mod en værdi på 3500 kWh/ton.

Papirproduktionen indeholder lignende delprocesser, men varmpresningen er her erstattet af en valseproces.

Ifølge undersøgelser i Danmark i 1974 ligger energiforbruget på 590 kWh el og 4400 kWh olie pr. ton papir.

Tages råmaterialer og transport med i betragtning fås et samlet energiforbrug af størrelsesordenen 6300 kWh/ton papir [76.1].

For den amerikanske papirindustri oplyser [75.1] et forbrug på 7050-7850 kWh/ton (1972).

3.7.5 Limning

Trælimning er meget udbredt i industrielt fremstillet træ - spånplader, krydsfinér, fiberplader og limtræ.

Til disse produkter anvendes næsten udelukkende formaldehydhærdende lime, mens almindelig trælim kan være af forskellig art, men dog fortrinsvis P.V.A. lim (poly vinyl acetat).

Alle disse lime opnår deres adhæsion ved en polymerisation eller hærdning, som sker frivilligt, men som kan accelereres ved varmebehandling.

Limene er ikke alle lige gode til at modstå fugt. British Standard 1203 angiver fire limklasser med hensyn til modstandsdugtighed overfor klima:

- WBP - weather- and boil proof
- BR - boil-resistant
- MR - moisture-resistant and moderately weather resistant
- INT - interior

Limtype	Klasse	Hovedsagelig anvendelse
fenolformaldehyd	WBP	Limtræ, vandfast krydsfinér
ureaformaldehyd	MR	Spånplader, indendørs krydsfinér
resorciholformaldehyd	WBP	Limtræ, vandfast krydsfinér
melamineformaldehyd	BR	Bruges som forstærker
PVA	INT	Til snedkersamlinger og finér

Tabel 3.7.5.1:

Anvendelse af limtyper.

Limforbrugene ved laminerede materialer afhænger af limtype og desuden af kravet til limfugen. Som et gennemsnit kan angives 300-600 g/m² limfuge, hvilket for en limtræsdrager af 22 mm høvlede brædder betyder 13.5-27 kg/m³ limtræ. Som en tilnærmelse regnes der her med 20 kg lim pr. m³ limtræ.

For spånplader oplyses der i litteraturen et limindhold på 5-8% (vægtprocent af færdig plade). Her regnes med 7%, hvilket svarer til 11% flydende lim.

For fiberplade angiver [67.0] et tilskud af kunstharpikslime, fortrinsvis fenolformaldehyd, på 2.5% og i tilfælde af olieimpregnering et tilskud af 5% limolie.

Endelig angives der for krydsfinér et limforbrug på 150 g/m^2 limflade med en variation på $\pm 50 \text{ g/m}^2$ [64.0].

Dette svarer til 75 kg lim/m^3 for små finertykkelser og 50 kg lim/m^2 for store finertykkelser.

Energiforbruget til hærkning af limene og til etablering af limtryk er for spånpladeindustrien [77.1] angivet til gennemsnitligt 120 kWh/m^3 henholdsvis 45 kWh/m^3 spånplade.

For limtræ er forbruget af varme til hærningen meget lavere, idet man ofte anvender resorcinolholdige lime, som hærder ved meget lave temperaturer (ca. 45°C).

For krydsfinerens vedkommende er det de samme limtyper - de varmhærdende - der anvendes mest, men da der er et meget mindre limforbrug pr. m^3 træ, bliver varmekonsumet ikke helt så stort som ved spånpladepresningen.

Der antages her følgende værdier i kWh/m^3 (ASF):

	Etab. af pres	Hærkning
limtræ	45*	50*
spånplade	45	120
krydsfinér	45	(100)

For fiberplader er forholdene anderledes.

Dette er beskrevet på de forangående sider.

En mere energikrævende hærdeproces er højfrekvenshærningen, hvor emnerne udsættes for et elektromagnetisk felt, der alternerer meget højfrekvent.

[64.0] angiver som en teoretisk værdi et elektricitetsforbrug på 18.5 kWh el/m^3 limtræ.

Hertil forudsættes desuden et forhøjet presstryk, således at metoden kun kan anvendes på ret små emner.

*) Efter spørgeskema, besvaret af limtræproducent.

I praksis vil effektforbruget i el-nettet være ca. dobbelt så stort som det teoretiske forbrug, svarende til et energiforbrug på 105 kWh/m³ limtræ.

3.7.6 Imprægnering

Imprægnering af træ eller behandling med træbeskyttelsesmidler gør, at træ kan anvendes til langt flere formål i fugtige miljøer, og det forlænger træets brugssperiode væsentligt.

Sammen med den kendsgerning, at vedligeholdelsen gøres, omend ikke unødvendig så dog mindre belastende for trækonstruktionerne, bliver imprægnering anvendt til næsten alle udendørs konstruktioner.

Imprægneringsmaterialerne er enten olieagtige væsker, der ved imprægneringen udfylder træets celler eller giftige (for skadedyr) kemikalier i væskeform, der kun optages i cellevævet.

De mest anvendte er de sidste og af dem er de kobbersulfatholdige, som giver den kendte grønne farve, de mest anvendte.

Til overfladebehandling benyttes imidlertid ofte terpentinholdige væsker, som ikke trænger ret dybt ind i træet.

De nævnte kobbersulfatholdige væsker er som regel opløst på terpentin- eller petroleumbasis [59.0].

Dybdeimprægnering af tømmer sker generelt ved tre forskellige metoder:

- trykimprægnering
- vakuumimprægnering
- dypning af træ

hvoraf den sidste er næsten udgået som imprægneringsmetode. Det er derfor kun de to første, der skal nævnes her.

Trykimprægnering foregår i cylindriske kedler, hvor træet først udsættes for ca. 5 atm. tryk, hvorefter imprægneringsmidlet indpresses under ca. 10 atm. tryk.

Efter en passende periode sænkes trykket til normalt niveau og en del af den indtrængte imprægneringsvæske drives ved overtryk i træet ud til overfladen og kan genanvendes.

Behandlingstiden er ved fuldimprægnering 1-2 uger og ved delvis imprægnering noget kortere.

[59.0] angiver følgende mængder imprægneringsmateriale, som er nødvendig til imprægnering:

creosotolie - fyrretræ 65 kg/m³
 kobber-krom salte - fyrretræ 8 kg tørsalt/m³
 ~50-100 kg væske/m³

Vakuuminprægneringen anvendes især i forbindelse med let indtrængende imprægneringsvæsker på terpentin- eller petroleumsbasis og gennemføres i samme slags beholdere som ved trykimprægneringen.

Træet udsættes først for et stort undertryk, hvorved vanddampe og luft i træets porer trænger ud af træet.

Derefter fyldes imprægneringsvæske ind i beholderen og fylder beholderen helt, hvorefter væsken automatisk suges ind i træet.

Der anvendes omtrent samme mængder imprægneringsstof som ved trykimprægnering, men behandlingstiden er meget kortere end ved trykimprægnering, ca. 1-2 timer. Strømforbruget ved gennemsnitsforbrug oplyses af et imprægneringsfirma at være ~10 kWh/m³ træ. Det kan dog sænkes til ~2 kWh/m³ træ ved maksimal udnyttelse af vacuumbeholderens volumen.

		kWh/m ³	råmaterialer imprægnering	ialt
opsavet og ophøvlet træ	træolier	210	15	225
	salte	60	15	75
færdige bygnings-elementer	træolier	210	35	245
	salte	60	35	95

Tabel 3.7.6.1:

Imprægneringsenergiforbruget for vacuum-imprægnering.

Ved efterbehandlingsmetoder, påstrykning af beitse, anvendes der varierende mængder, alt efter træets tykkelse; ca. 2 kg/m³ - 10 kg/m³ og her anvendes fortrinsvist oliebeitser.

3.7.7 Fastlæggelse af værdier for det specifikke energiforbrug

Ud fra de foregående afsnit skal der her fastlægges tal for ASF, MSF og FSF, som kan benyttes i de senere undersøgelser.

Som det fremgår af de sidste afsnit, varierer angivelserne for energiforbruget i de forskellige forarbejdningsprocesser kraftigt, selv inden for samme kilde.

Værdierne, der er givet i det følgende er fremkommet ved en udvælgelse fra materialet i disse kilder.

Denne udvælgelse er først og fremmest baseret på kildens baggrundsmateriale og dens dokumentation. Desuden er der taget hensyn til, hvorfra det danske forbrug af varen importeres.

Med indregning af transportforbrug og afskrivning er de i tabel 3.7.7.1-4 givne tal gældende i det følgende.

MSF	Spånplader	Krydsfinér	Fiberplader
plader	1250	2375	2515
imprægnerede	-	2460	2635
FSF			
plader	220	335	180
imprægnerede		380	210

Tabel 3.7.7.4:

MSF og FSF for træbaserede bygningsplader
(kWh/ton)

Der er valgt at angive det specifikke energiforbrug for konstruktionstræ, dvs. materialenumrene i0 - i9 i tabel 3.2.3, i kWh/m³ i modsætning til alle andre angivelser, der er i kWh/ton.

Dette skyldes at konstruktionstræets vægt er meget afhængig af dets fugtindhold og angivelser i kWh/ton ville derfor ikke være veldefinerede.

	tømmer	firhøvlet tømmer	limtræ	brædder	karm- træ	høvlede brædder	bøge- parket*
råmaterialer	102	113	177	122	168	143	143
savskæring	50	50	75	75	70	80	80
spåntagning	-	11	14	-	28	14	28
spild ved spåntagn.	-	20	38	-	74	33	66
tørring****	450	800	450	450	800	800	1125
limning	-	-	95	-	-	-	-
øvrigt, komfort	~0	~0	430**	~0	120	~0	373
imprægnering	75	75	95	75	95	75	-
bygningstræ	602	994	1278	647	1260	1070	1815
imprægneret***	677	1069	1373	722	1355	1145	-
afskrivning 3%	16	26	32	16	33	27	55
transport	100	100	110	100	100	100	80
bygningstræ	720	1120	1420	765	1395	1295	1940
imprægneret***	795	1195	1515	840	1490	1270	-

*) Oplysninger fra [76.1].

**) Oplysninger fra en limtræsfabrikant.

*** Med imprægneringssalte.

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

Tabel 3.7.7.1:

Energiforbrug til fremstilling af bygnings-
træ ASF (kWh/m³).

MSF	tømmer	firhøvlet tømmer	lim- træ	brædder	karm- træ	høvlede brædder	bøge- parket
bygningstræ	350	500	650	350	550	520	750
imprægneret	385	535	690	395	590	555	-
FSF							
bygningstræ	50	68	131	52	88	75	113
imprægneret	57	75	141	59	98	82	-

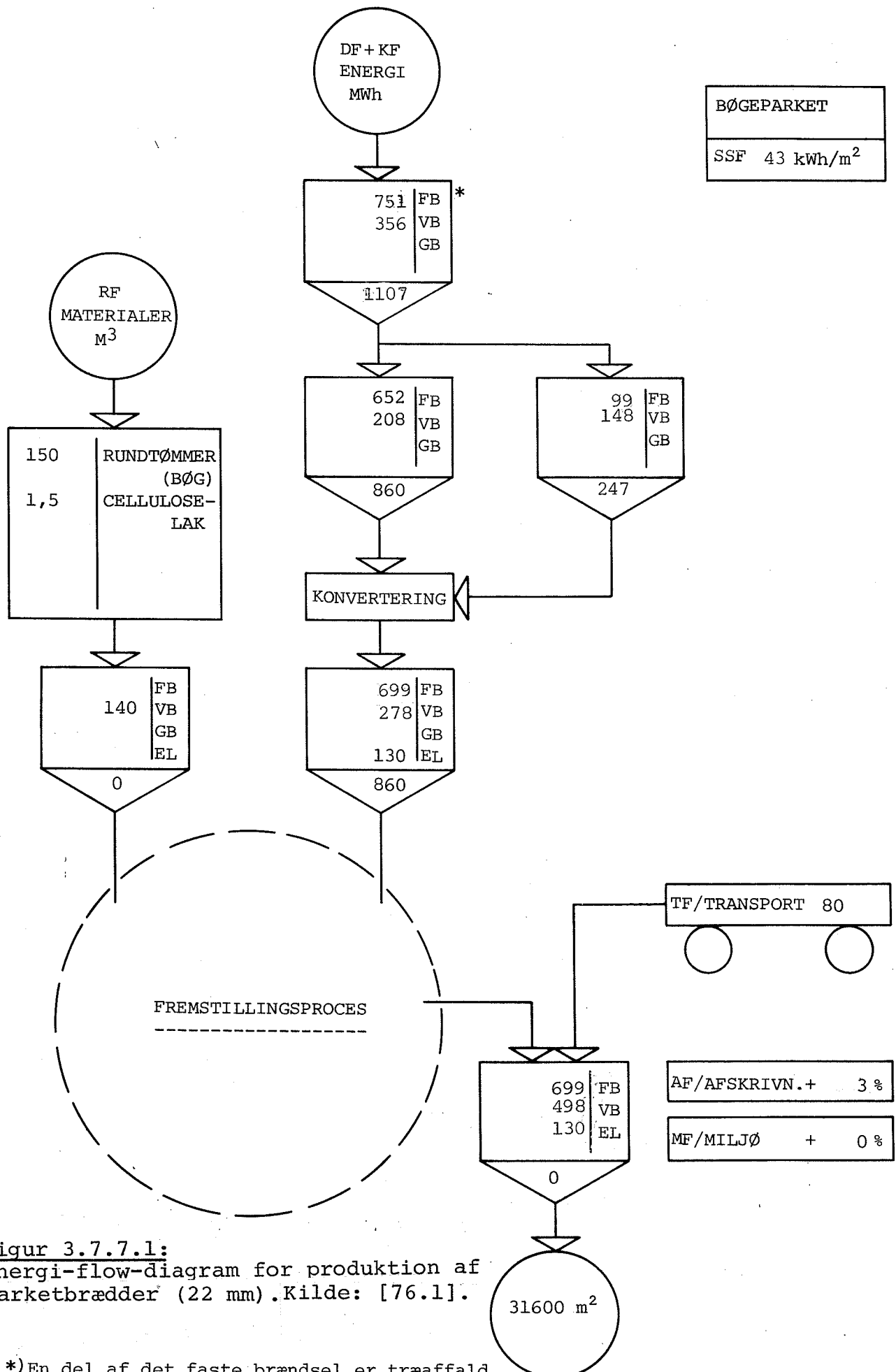
Tabel 3.7.7.2:

MSF og FSF for bygningstræ (kWh/m³).

	Spånplader	Krydsfinér	Fiberplader	Gipsplader**
råmaterialer	370	525	145	790
savskæring	-	-	-	-
spåntagning	75	165	850	-
tørring	685	1330	-	(600)
"limning"	255	240	1800	-
øvrigt	370	1670	1070	815
imprægnering	-	165	250	-
afskrivning	55	120	115	70
transport	80	110	110	120
plader	1890	4160	4090	2395
imprægnerede*	-	4325	4340	-

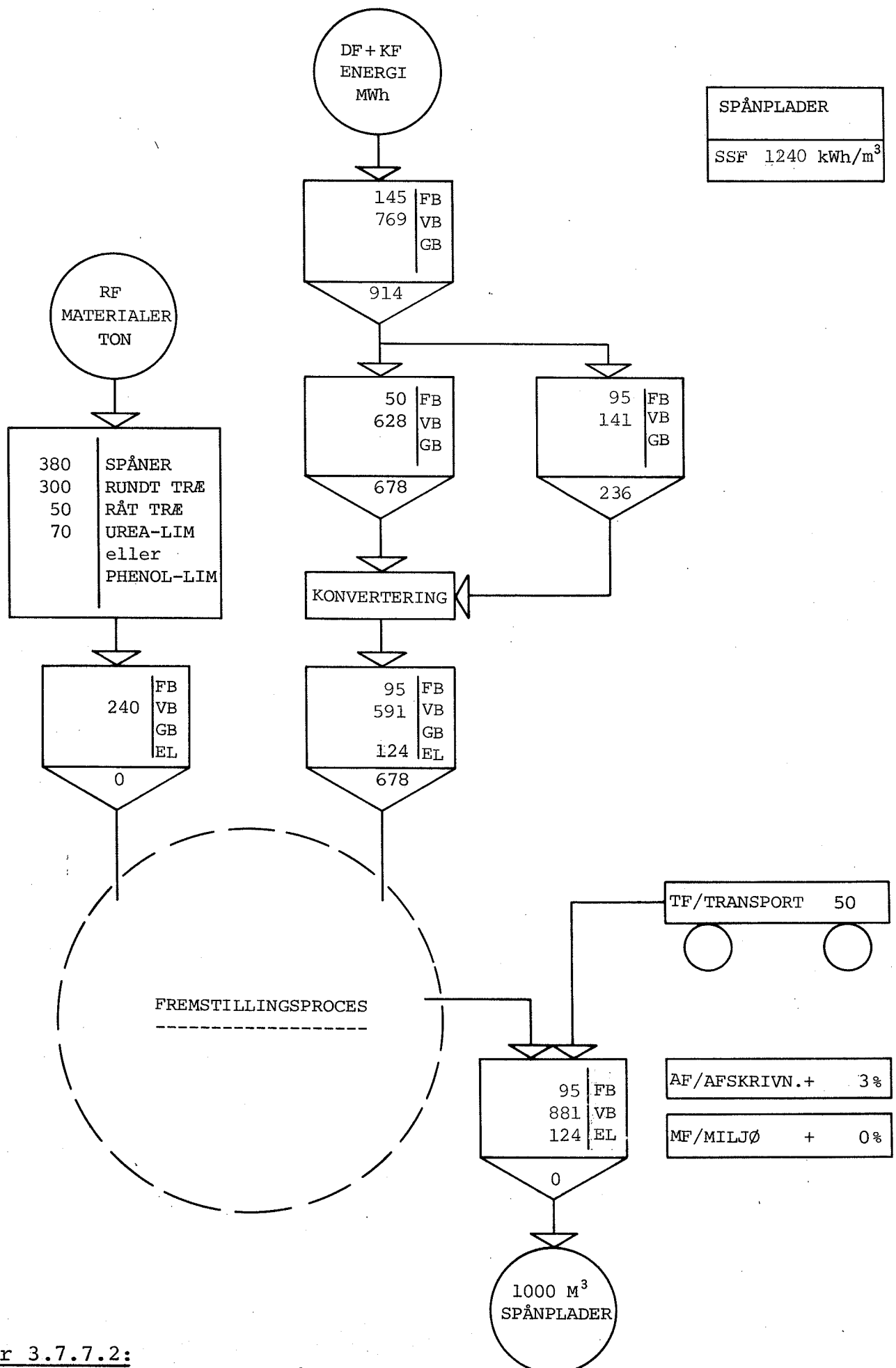
*) For krydsfinér: vandfast krydsfinér, for fiberplader: oliehærdede fiberplader
 **) Se afsnit 3.11.

Tabel 3.7.7.3:
 Energiforbrug til fremstilling (kwh/ton)
 af træbaserede plader, ASF.

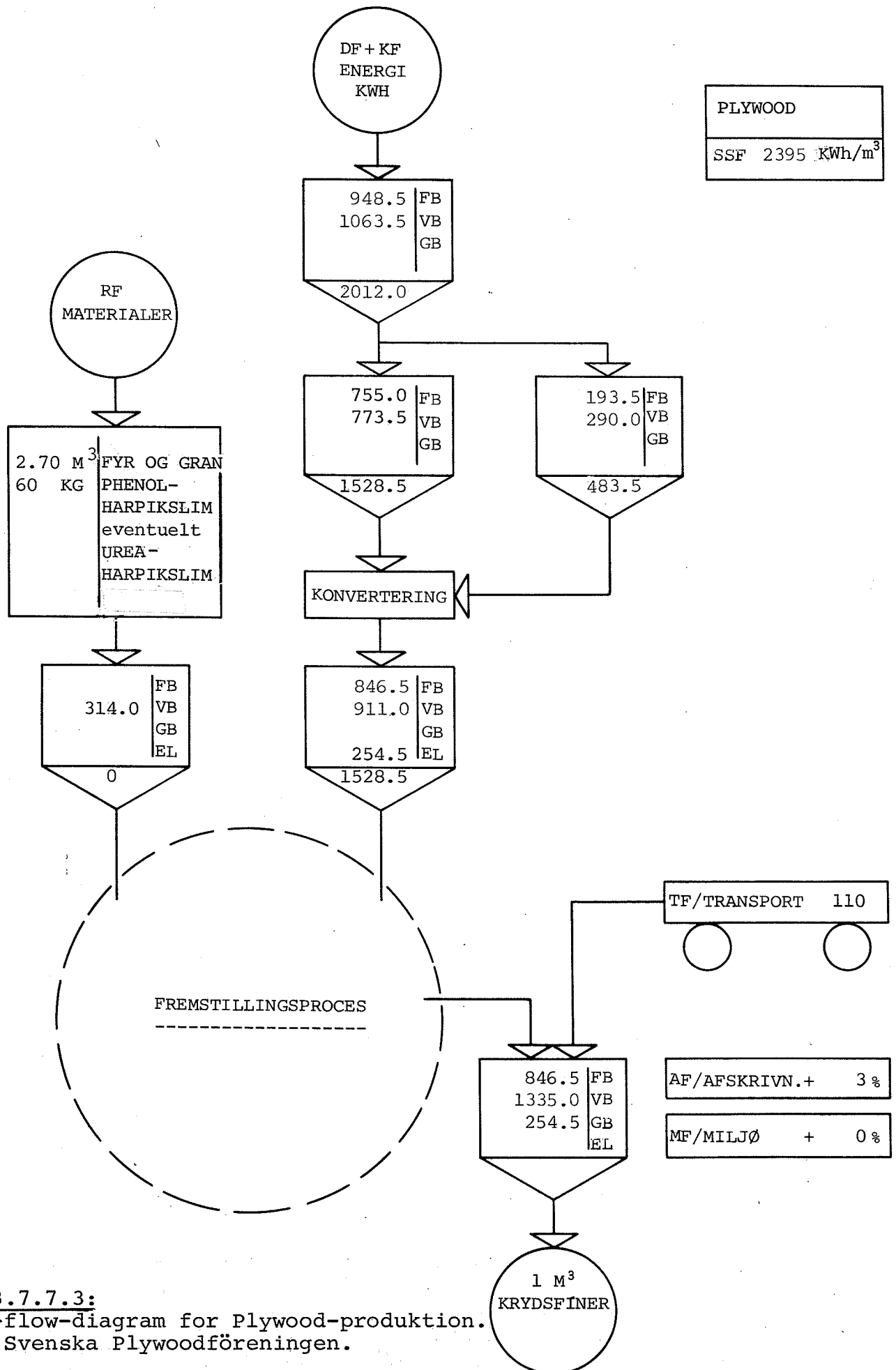


Figur 3.7.7.1:
Energi-flow-diagram for produktion af
parketbrædder (22 mm). Kilde: [76.1].

*) En del af det faste brændsel er træaffald
svarende til 19 kWh/m² parket.



Figur 3.7.7.2:
Energi-flow-diagram for spånpladeproduktion.
Kilde [77.1].



Figur 3.7.7.3:
Energi-flow-diagram for Plywood-produktion.
Kilde: Svenska Plywoodföreningen.

3.7.8 Litteraturliste

- [50.0] Bror Cronborg m.fl.:
"TRÄINDUSTRINS HANDBOK"
Tekno's publikation 12:3
Teknografiska Institutet,
Stockholm, Sverige 1950
- [59.0] Ole Glarbo:
"TRÆ"
Teknisk Forlag, Danmark 1959
- [64.0] W.A. Chugg:
"GLULAM. THE MANUFACTURE OF
GLUED LAMINATED STRUCTURES"
England 1964
- [64.1] H.J. Deppe, Kurt Ernst:
"TECHNOLOGIE DER SPANPLATTEN"
Østtyskland 1964
- [66.0] "PLYWOOD AND OTHER WOOD-BASED
PANELS"
FAO, Rom, Italien 1966
- [67.0] Helmut Lampert:
"FASERPLATTEN"
VEB Fachbuch, Leipzig,
Østtyskland 1967
- [69.0] Chr. Boye, C.L. Baumbach:
"FORCERET FRILUFTSTØRRING"
Træteknik, Teknologisk Forlag,
Danmark 1969
- [69.1] Chr. Boye, C.L. Baumbach:
"TRÆTØRRING"
Træteknik, Teknologisk Forlag
Danmark 1969
- [72.0] Andrew McKillop:
"LOW ENERGY HOUSING"
The Ecologist, Vol. 2, No. 12
England 1972
- [73.0] Richard J. Auchter:
"RECYCLING FOREST PRODUCTS
RETRIEVED FROM URBAN WASTE"
Forest Products Journal No. 2,
U.S.A. 1973
- [73.1] P.C. Kreijger:
"ENVIRONMENT, POLLUTION, ENERGY,
AND MATERIALS"
Materiaux et Constructions No. 6,
Frankrig 1973

- [74.0] "ENERGIFORSKNING, BYGGSEKTORENS
ENERGIANVÄNDNING"
Särtryck ur SOU 1974:74 og SOU 1974:76
Industridepartementet, Sverige 1974
- [74.1] Erik Reitzel:
"RÅHUS OG RÅSTOFFER"
DIF-pjece nr. 8, Danmark 1974
- [75.0] Jerry Morey:
"CONSERVATION AND ECONOMICAL
HARVESTING OF WOOD FIBER BY USING
THE WHOLE TREE"
Tappi Vol. 58, No. 5
U.S.A. 1975
- [75.1] "THE DATA BASE. THE POTENTIAL FOR
ENERGY CONSERVATION IN 9 SELECTED
INDUSTRIES"
Vol. I + III
Office of Industrial Programs
U.S.A. 1975
- [75.2] P.F. Chapman:
"THE ENERGY COST OF MATERIALS"
Energy Policy,
England, marts 1975
- [75.3] B. A. Haseltine:
"COMPARISON OF ENERGY REQUIREMENTS
FOR BUILDING MATERIALS AND
STRUCTURES"
The Structural Engineering,
Vol. 53, No. 9, England 1975
- [76.0] S.E. Corder:
"ENERGY USE IN AN INDUSTRIAL
VENEER DRYER"
Forest Products Journal,
Vol. 26, No. 9, U.S.A. 1976
- [76.1] Søren Klokholm:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [76.2] John E. Houghton m.fl.:
"WOOD FOR ENERGY"
Forest Products Journal No. 4,
U.S.A. 1976
- [76.3] Thomas A. Markus m.fl.:
"HOUSING ENERGY ECONOMICS -
PILOT STUDY"
University of Strathclyde,
Glasgow, Scotland 1976

- [77.0] "VARE- IND- OG UDFØRSEL"
Statistiske Meddelelser,
Danmarks Statistik 1977
- [77.1] P.H. Adersen:
"KORTLÆGNING AF UDVALGTE VIRKSOM-
HEDSTYPER ENERGI FORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark august 1977
- [77.2] Sören Nordin, Ernst Back:
"FÖRSTUDIE AV ENERGI BESPARANDE
ÅTGÄRDER INOM SVENSK FIBERSKIVE-
INDUSTRI"
STFI-meddelande serie B, nr. 443
(FS B:58), Svenska Träforsknings-
institut, Sverige 1977
- [78.0] "VARESTATISTIKKEN FOR INDUSTRIEN
1975-77"
Danmarks Statistik 1978

3.8 GLAS OG MINERALSKE MATERIALER

3.8.0 Generelt

Dette afsnit omhandler dels glasmaterialer og dels mineralsk fibermateriale. I det følgende vil blive behandlet materialerne

1. Planglas
2. Termoruder
3. Andre glasmaterialer
4. Mineraluld
5. Andre mineralfibre

3.8.1 Planglas

Planglas eller vinduesglas er i virkeligheden en "meget tyktflydende væske", kemisk kaldes det en superunderafkølet væske. Dens kemiske sammensætning er givet i tabel 3.8.1.1.

Planglas fremstilles af sandmateriale, d.v.s. silicat- og feldspatminerale, kalk, soda og enkelte tilskudsstoffer.

Grundmaterialerne pulveriseres og tilføres et stort smeltebad i samme takt som smelten forbruges til produktion.

Smeltebadstemperaturen er ca. 1575°C. Ved aftapningen falder temperaturen til ca. 1200°C og er sluttelig under valsningen omkring 1000°C.

Sammensætningen af råmaterialet er for en typisk produktion givet i tabel 3.8.1.1.

Under smelteprocessen frigøres overskydende gasser, hovedsagelig CO₂, og smelten renses til slut ved hjælp af inaktive luftarter for urenheder, som da kan skummes af fra overfladen.

<u>Råmaterialer:</u>	Kvartssand	Soda	Dolomit	Kalk	Glaubesalt
<u>Vægt%:</u>	58.6	17.5	10.5	9.9	3.5
<u>Planglas, ilter:</u>	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
<u>Vægt%:</u>	73.2	13.2	8.3	3.5	1.3

Tabel 3.8.1.1:

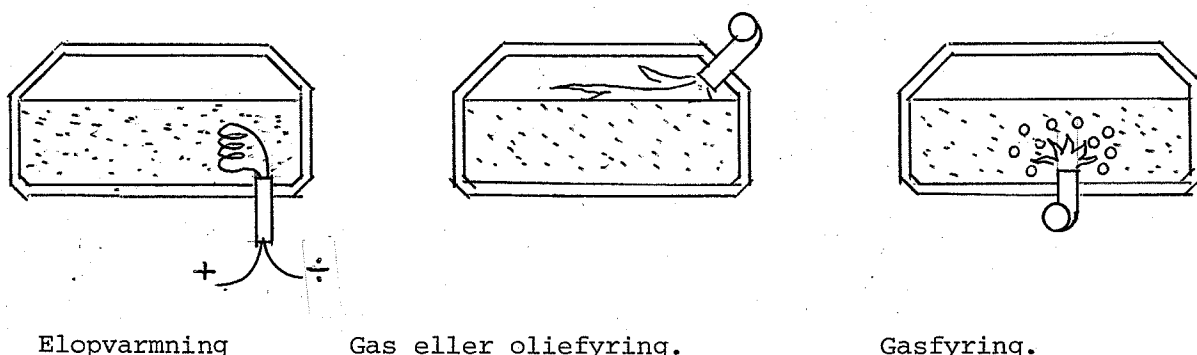
Sammensætning af råmateriale og slutprodukt i planglasproduktionen [75.3].

Da selve behandlingsprocesserne kræver meget snævre temperaturintervaller for smelten, benytter man sig af meget store smeltebad og elektronisk styring af fyringen. Opvarmningen kan enten ske ved olie-fyring eller gasfyring, se figur 3.8.1.1.

Valsningen kan f.eks. foregå ved, at smelten hives lodret op i valseværket ved adhæsion til valser og valsningen foregår i et lodret plan.

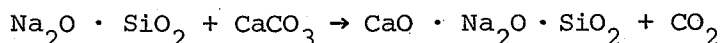
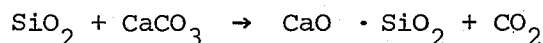
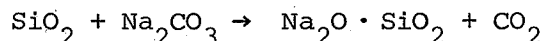
Langt den største energiudgift går til smeltningen og til opretholdelse af smeltetemperaturen. For små smelteportioner bliver det smeltningen af silicaterne, der er kritisk.

Det store overskud af siliciumilte vil gøre, at soda og kalk vil reagere og smelte først, mens der derefter vil være en hel del kvartssand, der endnu ikke er smeltet. Dette sker først ved en yderligere tilførsel af varme, og denne sidste smeltning er ofte ret betydningsfuld for energiforbruget. Processen kan tilskyndes ved tilsætning af f.eks. vand eller sulfater.

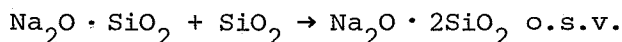


Denne fyringsmetode har den fordel, at røggassen afgiver en del af sin varme til smelten.

De kemiske reaktioner i smelten er efter [77.2]:



Ilterne formerer sig under afkølingen i såkaldte nukleoner, d.v.s. tætpakkede sammensætninger af molekyler. Denne proces forløber af sig selv og er exoterm.



Figur 3.8.1.1: Fyringsmetoder for smeltebadet.

Opvarmning og smeltning af råmaterialerne i smelten kræver 670 kWh/ton og for glasaffald 510 kWh/ton [77.2] og [76.0].

Disse værdier gælder for laveste temperatur 1400°C i smelten. [76.0] angiver videre et tab fra smelten, d.v.s. et løbende energiforbrug til opvarmning af smeltebadet for to ovntyper på 99 og 114 kWh/døgn. (Desværre er smeltebadets størrelse ikke angivet).

Under forudsætning af at smeltebadet er kubisk og omgivet af vægge med k-værdien k kan dette løbende forbrug af energi til opretholdelse af smeltetemperatur ved nulproduktion beregnes at afhænge af smeltebadets størrelse og produktionshastighed efter følgende formel:

$$F_0 = \text{Varmetab/produceret enhed} \\ = \frac{6 \cdot \rho \cdot k \cdot \Delta t}{\Delta m} \ell^5 = \frac{\text{konstant}}{\Delta m} \ell^5 = \frac{\text{konstant}}{\Delta m} V^{5/3}$$

idet

- ρ = smeltens rumvægt, ton/m³
- Δm = produktion pr. time, ton/h
- ℓ = kubens sidelængde, m
- V = smeltebadets (kubens) volumen, m³
- k = kubevæggens k-værdi, W/°C m²
- Δt = temperaturforskelle mellem smelte og luft, °C

Heraf ses det, at der ikke kan siges noget generelt om energiforbruget i glasfremstillingen, idet den ovennævnte størrelse varierer voldsomt, afhængigt af produktionshastighed og smeltebadets størrelse.

[76.0] angiver dog et forbrug til smeltning af råmaterialerne. I praksis må man ofte operere med højere smeltetemperaturer for at opnå rimelige produktionshastigheder. Med en forhøjet smeltetemperatur på 1500°C giver det et ekstraforbrug på 35 kWh/ton eller i alt 705 kWh/ton. Denne størrelse angives af [76.0] at følge formlen

$$\frac{F-F_0}{\Delta m} = \frac{1}{e} (0.31 \cdot T_2 + 142) \text{ kcal/kg}$$

hvor

- F = det totale brændselsenergiforbrug kcal/h
- e = effektiviteten af fyringen
- T_2 = smeltebadstemperatur, °C

For de undersøgte ovntyper lå effektiviteten af fyringen på 0.53-0.65 svarende til et tab i fyringen på 54-89% af smeltevarmen.

For de gennemførte forsøg svarer det til et energiregnskab ved en produktion på 165 ton/døgn som angivet i tabel 3.8.1.2.

Smeltevarme	100 Gcal/døgn	705 kWh/ton
Tab ved fyring	54 Gcal/døgn	380 kWh/ton
Nulproduktionsfyring	95 Gcal/døgn	670 kWh/ton
I alt	249 Gcal/døgn	1755 kWh/ton

Tabel 3.8.1.2:

Eksempel på et energiregnskab for en glassmelteproces.

Registrerede energiforbrug for en dansk glasproducent er angivet i [76.1]. Da der i oplysningerne i denne kilde ikke er differentieret mellem planglas- og anden glasproduktion har det været nødvendigt endvidere at indhente oplysning ved hjælp af spørgeskemaer.

Disse i kombination med [76.1] er basis for figur 3.8.1.2 og 3.8.2.1, der angiver ASF for henholdsvis planglas og dobbeltlags-termoruder. I tabel 3.8.1.3 er ASF for planglas sammenlignet med andre kilders angivelser.

Det kan altså konkluderes, at det store energiforbrug i glasproduktionen hovedsageligt skyldes et behov for at holde smelten på smeltetemperaturen. Overføres værdierne fra tabel 3.8.1.2 til den produktion som beskrives i figur 3.8.1.2 svarer det til et nulproduktionsenergiforbrug af størrelsesordenen 1500-1800 kWh/ton. Forskellen i forhold til tabel 3.8.1.2 skyldes sikkert et noget større bad, idet der netop i den omtalte virksomhed benyttes et temmelig stort smeltebad af hensyn til temperaturreguleringen.

Denne problematik har man undgået i en i 1959 patenteret produktionsproces, floatmetoden, hvor smeltning og valsning foregår i samme trin.

Dette foregår ved, at de formalede og blandede råmaterialer hældes ud på et meget varmt zinkbad, der har en temperatur, der er noget højere end den normale smeltetemperatur.

Herved smeltes råmaterialet meget hurtigt og lægger sig som en tynd hinde ovenpå zinkbadet p.g.a. forskellen i vægtfylde. Overfladerne bliver da fuldstændig plane og behøver ikke efterpolering.

Desværre har der ikke kunnet skaffes materiale om energiforbruget i denne proces, der allerede er basis for svensk produktion af planglas.

Det danske bygningsglas var i 1974 både importeret glas og egenproduktion, se tabel 3.8.1.4. Der kan dog forudses en stærk konkurrence fra den svenske glasindustri på grund af de ovennævnte faktorer, hvilket vil ændre forholdet mellem import og egenproduktion i fremtiden.

<u>Nation:</u>	DK	USA	P	GB	F	S	GB	USA
<u>Kilde :</u>	[76.1]	[74.0]	[77.1]	[75.1]	[74.1]	[74.2]	[75.1]	[75.2]
	5150	5100	10700	6250	6950	5700	3500	8100

Tabel 3.8.1.3:

Energiforbrug til fremstilling af glas efter forskellige kilder (kWh/ton).

	import (land)	export	salg af egne varer
<u>Planglas:</u>	27400 (GB, B)	33000	45400
<u>Termoruder:</u>	7300 (B, S)	2100	18800
<u>Hærdet glas:</u>	1300 (S)	1200	5000

Tabel 3.8.1.4:

Det danske forbrug af bygningsglas i 1974. Kilde [77.0] og [78.0] (ton).

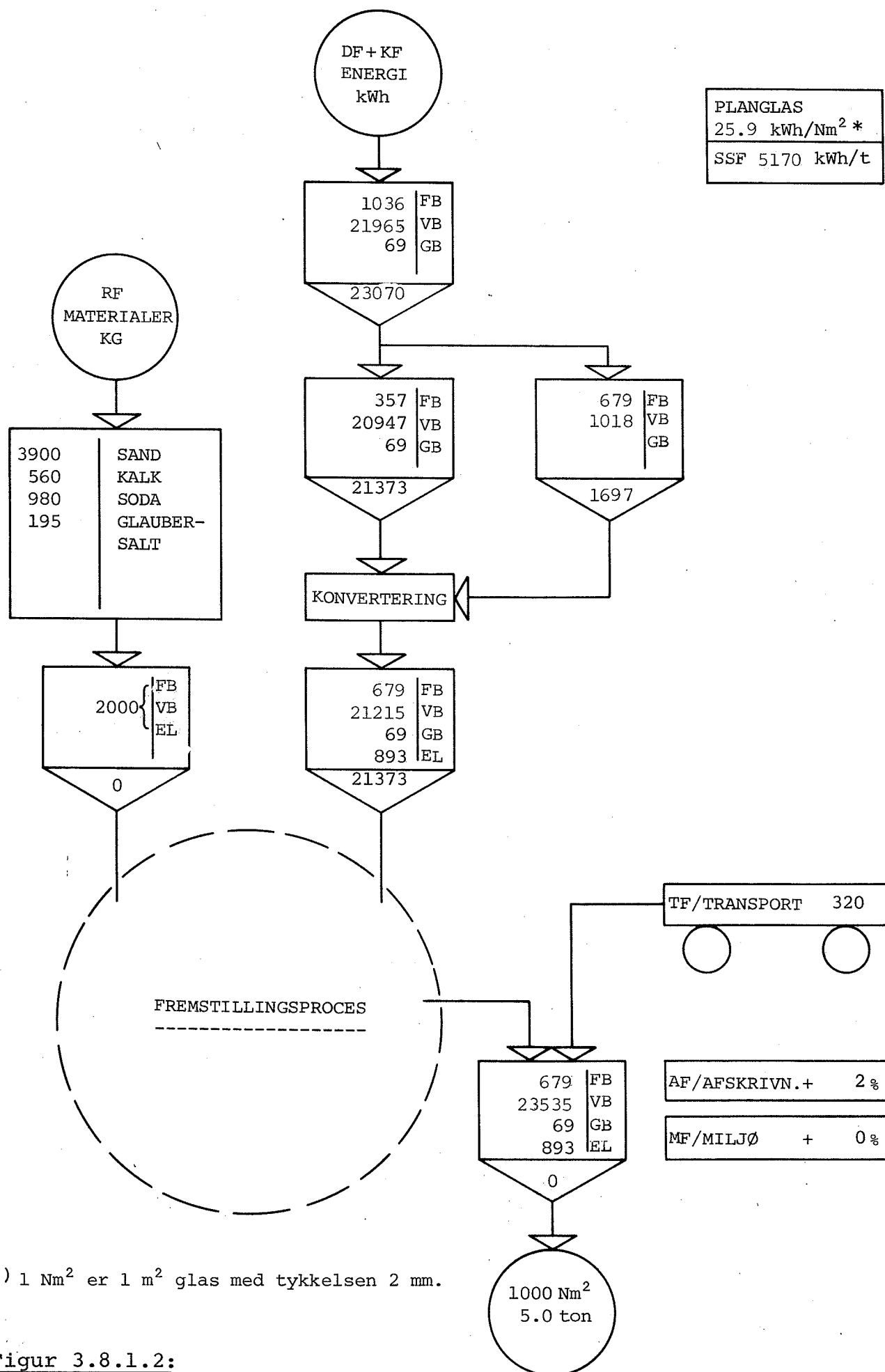
Til fastlæggelse af MSF og FSF burde man gå ind i den omtalte nye proces og dens energianvendelse. Da det ikke har været muligt, skal MSF beregnes ved at benytte angivelserne i [76.0], idet fyringstabet halveres og nulproduktionsfyringen sænkes til 25%.

Dette giver inklusive råmaterialer, transport og afskrivning et MSF på 2260 kWh/ton. Går man ved beregningen af FSF ud fra, at smeltevarmen af glasset ikke kan genvindes, idet glasset jo forbliver i væskefasen, bliver FSF inklusive råmaterialer, transport, valsning og spild 600 kWh/ton [77.2].

ASF	MSF	FSF
5170	2260	600

Tabel 3.8.1.5:

Det akkumulerede energiforbrug ved fremstilling af planglas (kWh/ton).



*) 1 Nm² er 1 m² glas med tykkelsen 2 mm.

Figur 3.8.1.2:

Energi-flow-diagram for planglasproduktion.

Kilde [76.1], [spørgeskema].

3.8.2 Termoruder

Ud fra data i forrige afsnit og værdier for ASF, MSF og FSF i tidligere afsnit kan energiforbruget til råmaterialerne i produktionen af termoruder bestemmes.

Lignende besvarelser af spørgeskema som i afsnit 3.8.1 ligger til grund for figur 3.8.2.1. Heraf kan det ses, at produktionen af termoruder resulterer i en ASF-værdi på ~7025 kWh/ton.

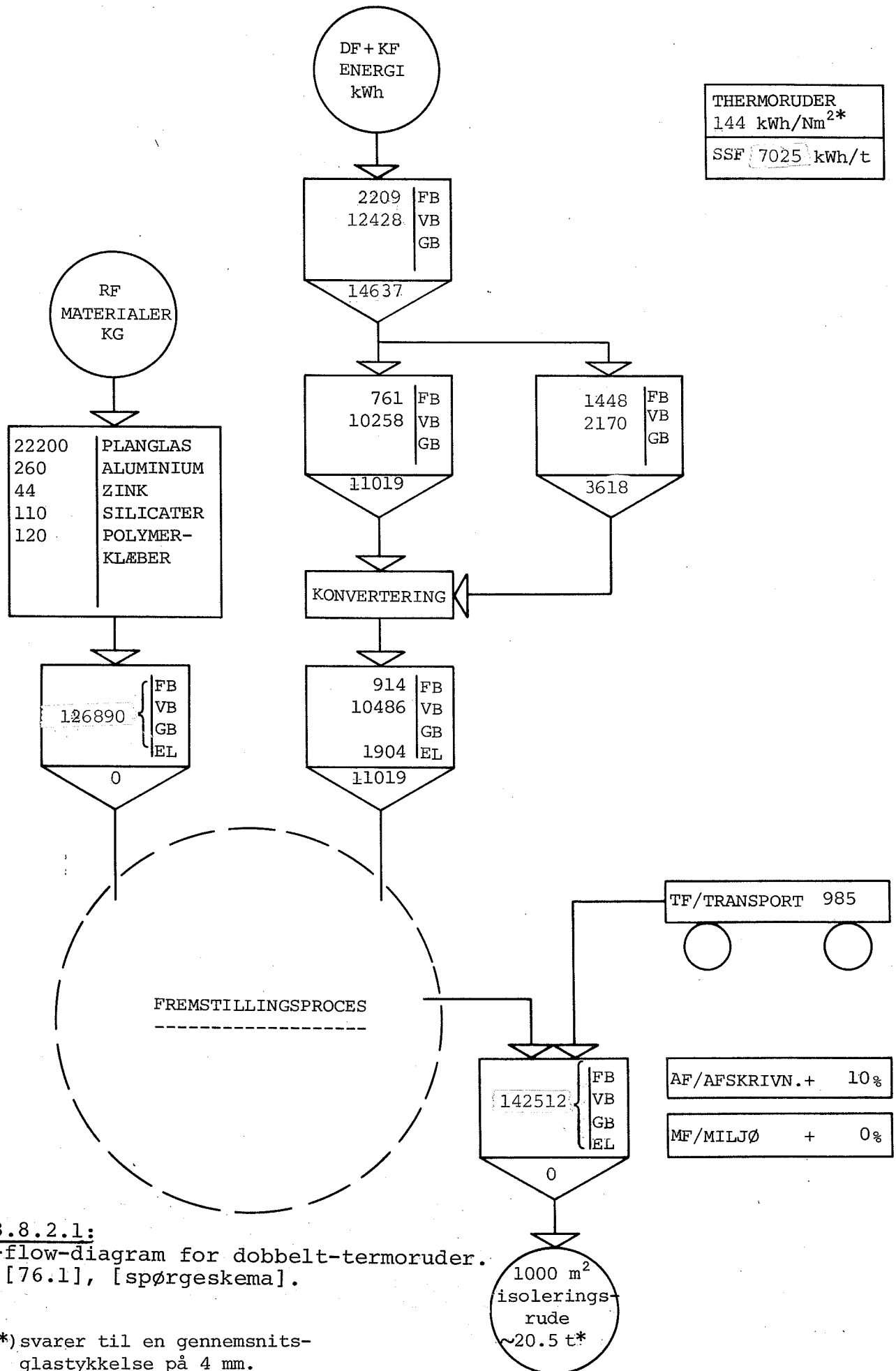
På analog måde som i 3.8.1 kan MSF og FSF beregnes for termoruder.

ASF	MSF	FSF
7025	2800	940

Tabel 3.8.2.1:

Akkumuleret energiforbrug for termoruder
(kWh/ton).

Disse tal vil også gælde for trelagsruder, idet alene produktionsenergiforbruget på fabrikken stiger lidt i forhold til tolagsruder. Denne stigning er imidlertid forsvindende taget i forhold til det samlede akkumulerede energiforbrug.



Figur 3.8.2.1:
Energi-flow-diagram for dobbelt-termoruder.
Kilde: [76.1], [spørgeskema].

*) svarer til en gennemsnits-
glastykkelse på 4 mm.

3.8.3 Andre glasmaterialer

Andre glasprodukter, som benyttes i bygningssektoren er

- armeret glas
- støbt glas
- skumglas
- hærdet glas

Armeret glas eller trådglas benyttes til branddøre m.m., hvor glaspladen skal modstå temperaturer eller mekanisk påvirkning uden at splintres.

Armeringsnettet består af 0,5 mm ståltråd, der er punktsvejsede med en trådafstand på 12 mm. Dette svarer til en stålsvægt på 0.26 kg pr. m³, og ved de normale trådglas-tykkelser på 6-7 mm til ~15 kg pr. ton glas eller 180 kWh/ton glas.

Det antages, at der ikke er væsentlige forøgelse i energiforbruget i forarbejdningsprocessen i forhold til planglas.

Støbt glas eller ugenomsigtigt glas bruges til entredøre, badeværelsesvinduer m.m. Denne type må støbes og vales vandret. Der er ikke fundet tal for energiforbruget i denne proces, men det antages i det følgende et energiforbrug af samme størrelsesorden som for lodret valset planglas.

Skumglas eller foamglass er et isoleringsmateriale, der fremstilles ved en opblæring af råglas. Det anvendes til isolering af tag og kældervægge, især p.g.a. dets formstabilitet. Rumsvægten af skumglas kan være så lav som 30-50 kg/m³, men er normalt omkring 150 kg/m³.

I dag kan materialet dog ikke prismæssigt konkurrere med de noget lettere plastisoleringsmaterialer som opskummet polyuretthan, opskummet polystyren eller polystyrenkugler.

Produktionen af foamglass, der hovedsagelig foregår i U.S.A., har der ikke kunnet skaffes oplysninger om.

Som en fastsat tilnærmelsesværdi skal derfor i det følgende benyttes en værdi for energiforbruget svarende til planglas.

	ASF	MSF	FSF
Armeret glas	5350	2315	620
Støbt glas	5200	2300	600
Skumglas	5200	2300	600
Hærdet glas	5750	2500	600

Tabel 3.8.3.1:

Akkumuleret energiforbrug ved produktion af diverse glasmaterialer (kWh/ton).

Hærdet glas er almindeligt planglas, der gennem en varmehærdning får bedre mekaniske egenskaber tilført ved ca. 650°C.

Ved en påfølgende chokafkøling kan glassets styrke ca. firdobles i overfladerne.

Opvarmning af glasset til 650°C kræver minimalt 147 kWh/ton, i praksis vel 2-3 gange så meget. Chokafkølingen kræver betydelig lufttilførsel og dermed store el-energiforbrug. Hærdebehandlingen antages i det følgende at kræve 600 kWh/ton.

3.8.4 Mineraluld

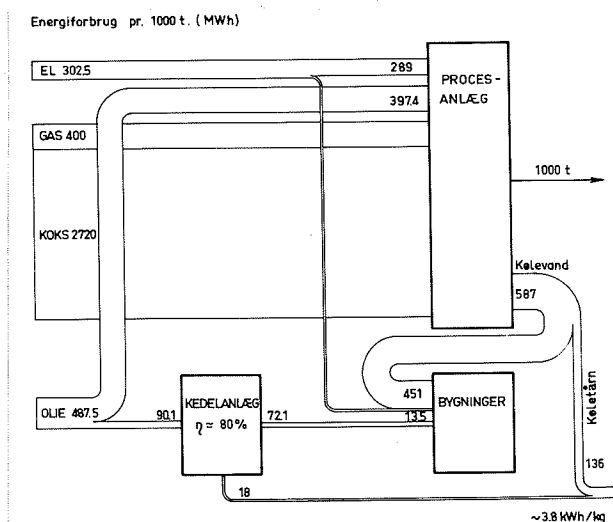
Produktionen af mineraluld kan i store træk sammenlignes med glasproduktionen i de første faser.

Råmaterialer er her stenmateriale, for stenuldens vedkommende, og sand, kalk, soda og glaubersalt for glasuldens vedkommende.

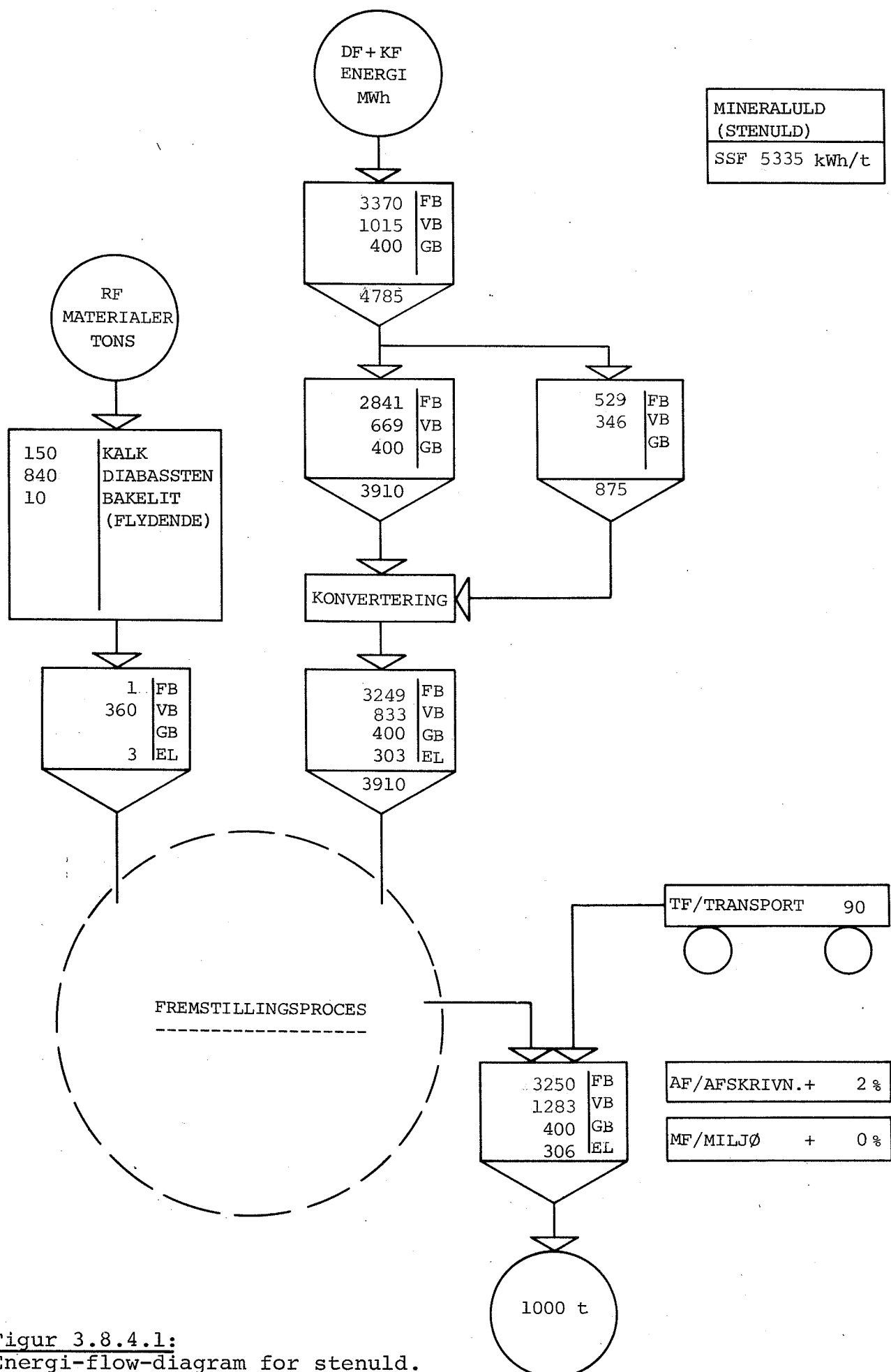
Glasuldens batch fremstilles analogt med glasbatchen og centrifugeres derefter gennem en dyse, hvorved der dannes tynde glasfibre, som "størkner" og splintres i de længder, som optræder i glasuldproduktet. Der tilsættes herefter bindemidler, som kan være et phenolbaseret plastikbindemiddel, og produktet hærdes i en hærdeovn.

Stenuld fremstilles ved en indblæsning af koks, kalk og diabas-sten i en kupolovn. Man får herved batch, der indeholder langt flere urenheder end glasuldens, og kan derfor ikke gennemgå helt de samme behandlingstrin som i glasproduktionen, men batchen bliver her blæst ind på roterende plader, der centrifugerer små, stavagtige partikler ud til alle sider. Spild fra stenuldsbatternes opskæring sælges efter granuleringsproces som hulumrsfyld.

I figur 3.8.4.1 er stenuldsproduktionens energiforbrug for en dansk virksomhed optegnet og et internt energi-flow er vist i figur 3.8.4.2 [76.1].



Figur 3.8.4.2:
Energi-flow for stenuldsproduktion, [76.1],
vist v.h.a. et Sankey-diagram.



Figur 3.8.4.1:
Energi-flow-diagram for stenuld.
Kilde [76.1].

Smeltningsenergiforbruget for stenuldsbatchen er lidt mindre end den for glasbatchen, idet man ikke renser stenuldsbatchen i så høj grad og heller ikke kræver så god kontrol med smeltetemperaturen i kupolovnen.

Hvad angår fremstillingen af glasuld har der ikke kunnet skaffes tilfredsstillende materiale med hensyn til energiforbrug.

Der kan kun henvises til forskellige kilders angivelse af energiforbruget til mineraluldsproduktion.

	(kWh/ton)			(kWh/m ³)	
Kilde:	[78.1]	[74.2]	[76.1]	[74.3]	[76.2]
Nation:	NL	S	DK	DK	GB
	9450	6000	5335	59	44

Tabel 3.8.4.1:

Energiforbrug til fremstilling af mineraluld.

Det kan ses, at tallene i tabel 3.8.4.1 er meget forskellige, hvilket først og fremmest skyldes den sædvanlige forskel i værdiernes beregningsmetode.

Idet der netop for isoleringsmaterialer viste sig nogen vanskelighed ved at skaffe litteratur, oplysninger ved hjælp af spørgeskemaer m.m. er der i denne rapport ikke gjort yderligere anstrengelser for at kunne forklare denne forskel, men der henvises alene til figur 3.8.4.1 gældende for stenuldsprodukter.

For MSF og FSF antages, at de kan beregnes efter forholdene for glasproduktionen.

ASF	MSF	FSF
5350	2300	650

Tabel 3.8.4.2:

Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af stenuld (kWh/ton).

3.8.5 Andre mineralfibre

Af andre mineralfibre, der bruges i bygningsindustrien kan kun to komme på tale, nemlig asbestfibre og glasfibre.

Asbestfibre anvendes både til asbestcementplader og asbestuld. Materialets kræftfremkaldende virkning gør dog materialet uegnet til produktion, og man må således gå ud fra, at asbestfibre går ud af byggematerialproduktionen i de kommende år.

Således bliver eternitpladerne fra 1979-80 produceret med polypropylenfibre i stedet for asbestfibre.

Asbestfiberen er en naturligt forekommende fiber, der har en meget høj styrke og god modstandsevne overfor temperaturpåvirkninger. Asbestfibrene importeres fra Malta og Nordafrika og transporteres over afstande på 4-5000 km med skib til Danmark. Tillægges udvinding af materiale samme energiforbrug som for malm fås energiforbrug som angivet i tabel 3.8.5.1.

Glasfibre benyttes til glasfiberarmeret plast og til glasfiberarmeret beton. Glasfibrene er kontinuerte, enten som massivtråd, som spundet tråd eller som vævet måtte.

I alle tilfælde fremstilles glasfiberen af genopsmeltede glaskugler [53.0], som fibreres på forskellig måde og trækkes op på ruller. Der må således, ud over energiforbruget til fremstilling af glas, tilføres varme til smeltning af glasset (>510 kWh/ton) og til tørring af måttematerialet, hvis dette er fremstillet ved tilsætning af binder.

Da der ikke har kunnet skaffes tal for disse størrelser i praksis, antages der et tillæg alt i alt på 2000 kWh/ton.

	ASF	MSF	FSF
<u>Asbest:</u>	875	440	100
<u>Glasfiber:</u>	7000	3300	1000

Tabel 3.8.5.1:

Akkumuleret energiforbrug til fremstilling af asbest- og glasfiber (kWh/ton).

3.8.6 Litteraturliste:

- [53.0] F.V. Tooley:
"HANDBOOK OF GLASS MANUFACTURE"
Ogden Publishing Company
U.S.A. 1953
- [74.0] R.S. Berry, H. Makino:
"ENERGY THRIFT IN PACKAGING AND
MARKETING"
Technology Review, Vol. 76, No. 4
U.S.A. 1974
- [74.1] P. Bourrelrier, R. Hamalin:
"MARERIAUX ET ENERGIE"
Annales des Mines,
Frankrig, maj-juni 1974
- [74.2] "ENERGIFORSKNING, BYGGSEKTORENS
ENERGIANVÄNDNING"
Särtryck ur SOU 1974:74 och
SOU 1974:76, Industridepartementet,
Sverige 1974
- [74.3] Erik Reitzel:
"RÅHUS OG RÅSTOFFER"
DIF-pjece nr. 8, Danmark 1974
- [75.0] P.F. Chapman:
"THE ENERGY COST OF MATERIALS"
Energy Policy,
England, marts 1975
- [75.1] B.A. Haseltine:
"COMPARISON OF ENERGY REQUIREMENTS
FOR BUILDING MATERIALS AND
STRUCTURES"
The Structural Engineer, Vol.53 No.9
England 1975
- [75.2] Robert A. Kegel:
"THE ENERGY INTENSITY OF BUILDING
MATERIALS"
Heating, Piping and Air
Conditioning,
U.S.A. juni 1975
- [75.3] Bo Adamson og Harry E. Backman:
"GLAS I HUS"
Esselte Studium,
Sverige 1975
- [76.0] C. Clark, Monks:
"FURNACE FIRING EFFICIENCY WITH
NATURAL GAS"
Glass Technology, Vol. 17, No. 3
England 1976

- [76.1] Søren Klokholm:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [76.2] Thomas A. Markus m.fl.:
"HOUSING ENERGY ECONOMICS -
PILOT STUDY"
University of Strathclyde
Glasgow, Scotland 1976
- [77.0] "VARE- IND- OG UDFØRSEL"
Statistiske Meddelelser
Danmarks Statistik 1977
- [77.1] W. Sroznoski m.fl.:
"ACCUMULATED ENERGY CONSUMPTION
IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION
MATERIALS AND LARGE BUILDINGS"
The Tenth World Energy Conference,
Istanbul 1977
- [77.2] J. Eales:
"GLASS TECHNOLOGY CALCULATIONS,
MANUAL AND DATABOOK OF"
Ordentlich P.O.B., p. 42-48
Israel 1977,
- [78.0] "VARESTATISTIKKEN FOR INDUSTRIEN
1975-77"
Danmarks Statistik 1978

3.9 BETON, FÆRDIGE PRODUKTER

3.9.0 Generelt

I dette afsnit vil færdige beton- og mørtelprodukter blive behandlet, nemlig de otte som også nævnes under f i SfB-tavlen (11-20), d.v.s.

1. Kalksandsten
2. Betonelementer og insitu beton
3. Porebetonelementer og porebetonblokke
4. Letkornsbetonelementer og letkornsbetonblokke
5. Asbestbeton

Alle disse materialer, undtagen jernbeton, har gennemgået en industriel bearbejdning, hvori råmaterialerne er halvfabrikater. De tilhørende energiforbrug for disse halvfabrikater hentes da fra tidligere afsnit.

En meget vigtig proces i den industrielle behandling er den accelererede hældning af betonen, kaldet autoklaving. Der skal derfor i det følgende gøres rede for denne proces og dens energikrav, baseret på kilden [69.0].

Autoklaving

Autoklaving er en proces, hvor man anbringer de kalk- eller cementbaserede emner i frisktilstand i en tæt beholder under forhøjet tryk og temperaturer mellem 80 og 200°C.

Varmen og trykket kommer fra indblæst damp, som ved varmetilførsel fra beholdernes overflader overophedes.

Autoklaveringsprocessen kan deles i 4 dele:

1. De friske udstøbte emner udsættes i starten for et stort temperaturchock, hvorved hydrationsprocesserne accelereres kraftigt. I denne fase, hvor emnerne endnu er plastiske, opstår der ikke temperatur-spændinger i dem, og man kan derfor tillade en meget høj temperatur af omgivelserne.
2. Efter en tid er så meget af emnet hærdet (hydratiseret), at det er stift og kun kan tåle visse temperaturgradienter. I denne fase skal man passe på med ikke at få for høje temperaturer i omgivelserne.

Det teoretisk minimale energiforbrug er ved en sådan cyklus mindre end nul, forudsat at emnerne afkøles helt ned til 20°C ved at vandet fordampes, og at den overskydende damp herfra kan kondenseres ved 20°C.

Ved kontinuert drift uden tab til omverdenen vil således hydrationsvarmen af cementen, h.h.v. hærdningsvarmen af kalkmørtlen, give et overskud af varme.

EKSEMPEL

For en autoklavecyklus uden mulighed for at kondensere dampen, er det teoretiske energiforbrug delt op i syv størrelser:

- q_1 : varmebehov til opvarmning af emner
- q_2 : varmebehov til opvarmning af autoklavevæg
- q_3 : varmebehov til opvarmning af forme
- q_4 : tab ved falskluft
- q_5 : tab ved utætheder for damp og fordampning af frit porevand
- q_6 : tab ved stråling

[69.0] angiver som et typisk eksempel følgende data til beregning af disse størrelser.

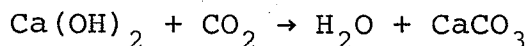
- C_{pb} - betonens varmekapacitet = 0.243 kWh/ton°C
- C_{ps} - ståls varmekapacitet = 0.128 kWh/ton°C
- w - vægtmængde stålform pr. emnevægt = 20%
- v - autoklavens kapacitet pr. m² autoklavevæg = 1.8 ton/m²
- t - autoklavevæggens tykkelse = 1cm
- ρ_s - ståls rumvægt = 7800 kg/m³

For en stålautoklave med en autoklaveringstemperatur på 80°C henholdsvis 160°C bliver $q_1 - q_6$ af størrelsesordenen:

(kWh/ton emne)	T = 80°C	T = 160°C
$q_1 = C_{pb} \cdot \Delta T$	19.5	34.0
$q_2 = (T - T_v) \cdot C_{ps} \cdot \rho_s \cdot t / v$	0.5	0.8
$q_3 = w \cdot C_{ps} \cdot \Delta T$	2.0	3.6
q_4 } erfaringsværdi	2.4	4.2
q_5 }	22.8	34.2
q_6 }	1.9	3.3
I alt	49.1	80.1

Derudover sker der tab ved udlukning af restdamp og under fremstilling af selve dampen.

For kalksandstens vedkommende og for gasbetons vedkommende går man op på højere temperaturer end de 80-100°C, dels fordi man i kalksandsten vil aktivere en yderligere proces, den såkaldte hydrosilika-tiske reaktion, hvor kalken bindes kemisk til quarzsandet. Dette forøger styrken af stenene kraftigt. Den fundamentale proces er den velkendte fra mørtel



som er en exoterm proces, d.v.s. den afgiver varme. Processen forløber imidlertid ved almindelige tryk og temperaturer meget langsomt (fuld hærkning ca. 10 år), mens man ved at hæve temperaturen til omkring 100°C kan få den til at forløbe i løbet af 10 timer eller mindre. Man overopheder derfor dampen til over 100°C til et tryk på op til 8 atmosfære.

Det tilsvarende gør sig gældende for gasbetonblokke. Her er hensigten med overophedningen og det forøgede tryk imidlertid at undgå at ødelægge de lukkede porer, skabe et ligevægtstryk ved de høje temperaturer.

I øvrigt kan fremstillingen af gasbeton eller porebeton i det hele taget ikke foregå ved almindeligt tryk og temperatur, idet svindet hidrørende fra cementen vil ødelægge materialet, inden det er færdighærdet. Disse ødelæggende svindfænomener kan undgås i en autoklavering.

Som erfaringsværdier for WB-autoklavering angiver [69.0] dampforbrug inklusive tab for

beton ~ 195 kg damp/m³ beton
letbeton ~ 165 kg damp/m³ beton

For beton svarer det ved en 80°autoklavering til et energiforbrug på 116 kWh/m³ beton d.v.s. 58 kWh/ton ved olie eller gasfyring.

For gasbeton bliver det tilsvarende ved T = 150°C 188 kWh/ton.

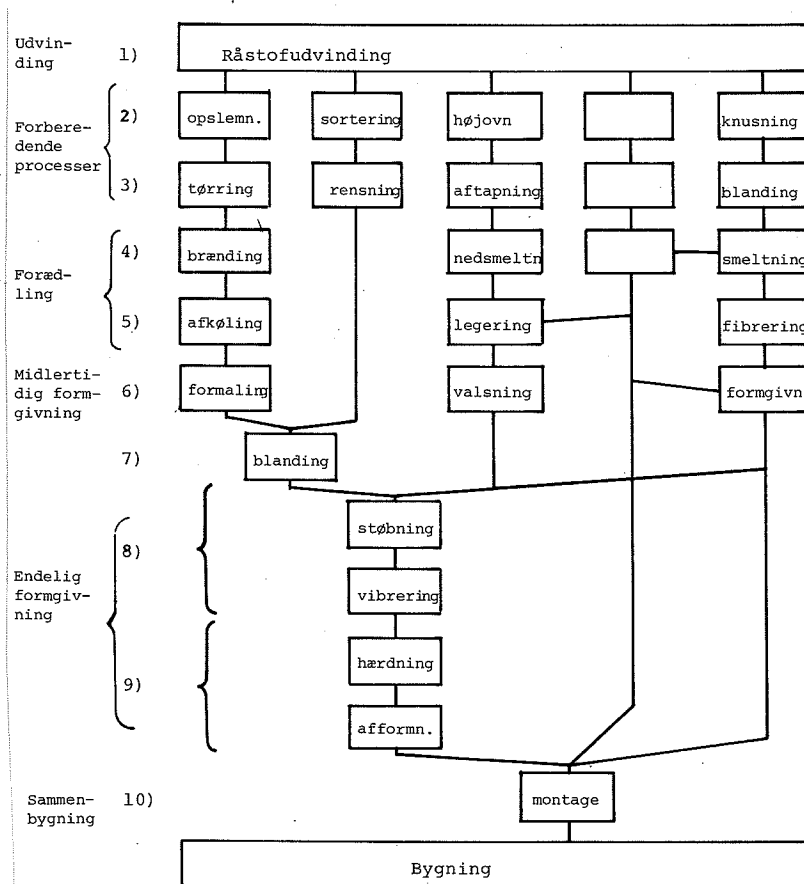
For kalksandsten ved T = 150°C fås 74 kWh/ton.

Produktionsforløb

Betonens fremstillingsforløb illustrerer meget tydeligt, hvordan produktionsvejen forgrener sig til et vældigt netværk for de højt forarbejdede produkter, der anvendes i byggeriet.

Dette kan også bruges til at illustrere de anvendte størrelser ASF, MSF og FSF.

Betragtes en fremstillingsproces af et armeret betonelement ($c = 300 \text{ kg/m}^3$) fås det i figur 3.9.0.3 og 4 viste grafiske bilde.

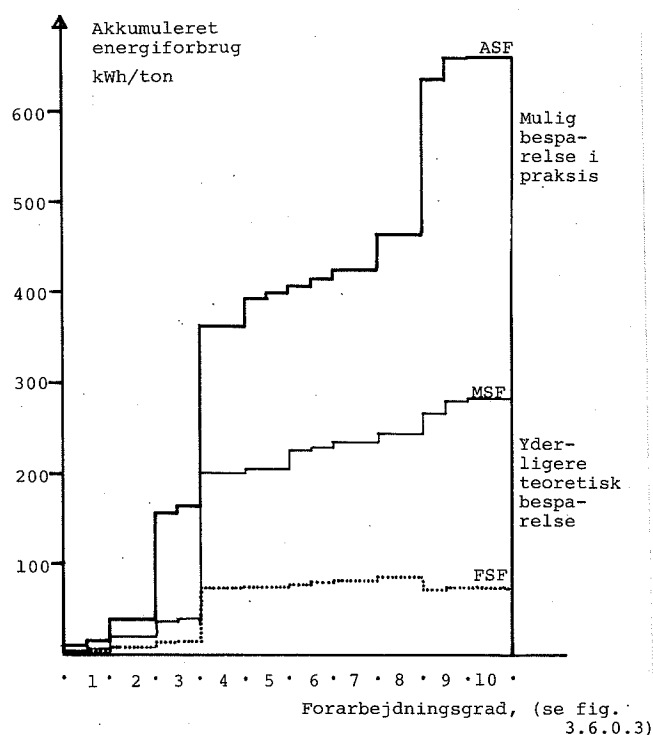


Figur 3.9.0.3:

Skematisk optegning af procesforløbet ved fremstilling af et betonfacadeelement.

I hver delproces er der et energiforbrug og et dertilhørende tab, hvorved forskellen mellem værdierne ASF, MSF og FSF opstår.

Mellem hver delproces er der et energiforbrug til transport.



Figur 3.9.0.4:

Akkumuleret energiforbrug i betonelement-fremstilling.

Grunden til at FSF falder i proces 8 er, at der her frigøres hydratiseringsvarmen for cementpastaen, som er af størrelsen 120-145 kWh/ton cement, idet hydratiseringsvarmen, Q_H , er afhængig af fordelingen af cementkomponenterne C_3S , C_2S , C_3A og C_4AF således, at $Q_H = 158 (C_3S) + 72 (C_2S) + 232 (C_3A) + 35 (C_4AF)$ kWh/ton, hvor (C_3S) er C_3S andelen i cementen o.s.v.

Cementtype	Standard-portland	Rapid	L.H	Hvid C
Typisk indhold af C_3S (%)	55	76	46	80
Typisk indhold af C_2S (%)	22	2	34	6
Typisk indhold af C_3A (%)	8	9	5	6
Typisk indhold af C_4AF (%)	9	7	9	1
Hydratiseringsvarme kWh/ton	124	143	170	146

Tabel 3.6.1.5:

Forskellige cementtypers hydratiseringsvarme (kWh/ton).

3.9.1 Kalksandsten

Kalksandsten fremstilles af en kalkmørtel med blandingsforholdet ca. 1 del brændt kalk til 10 dele sand.

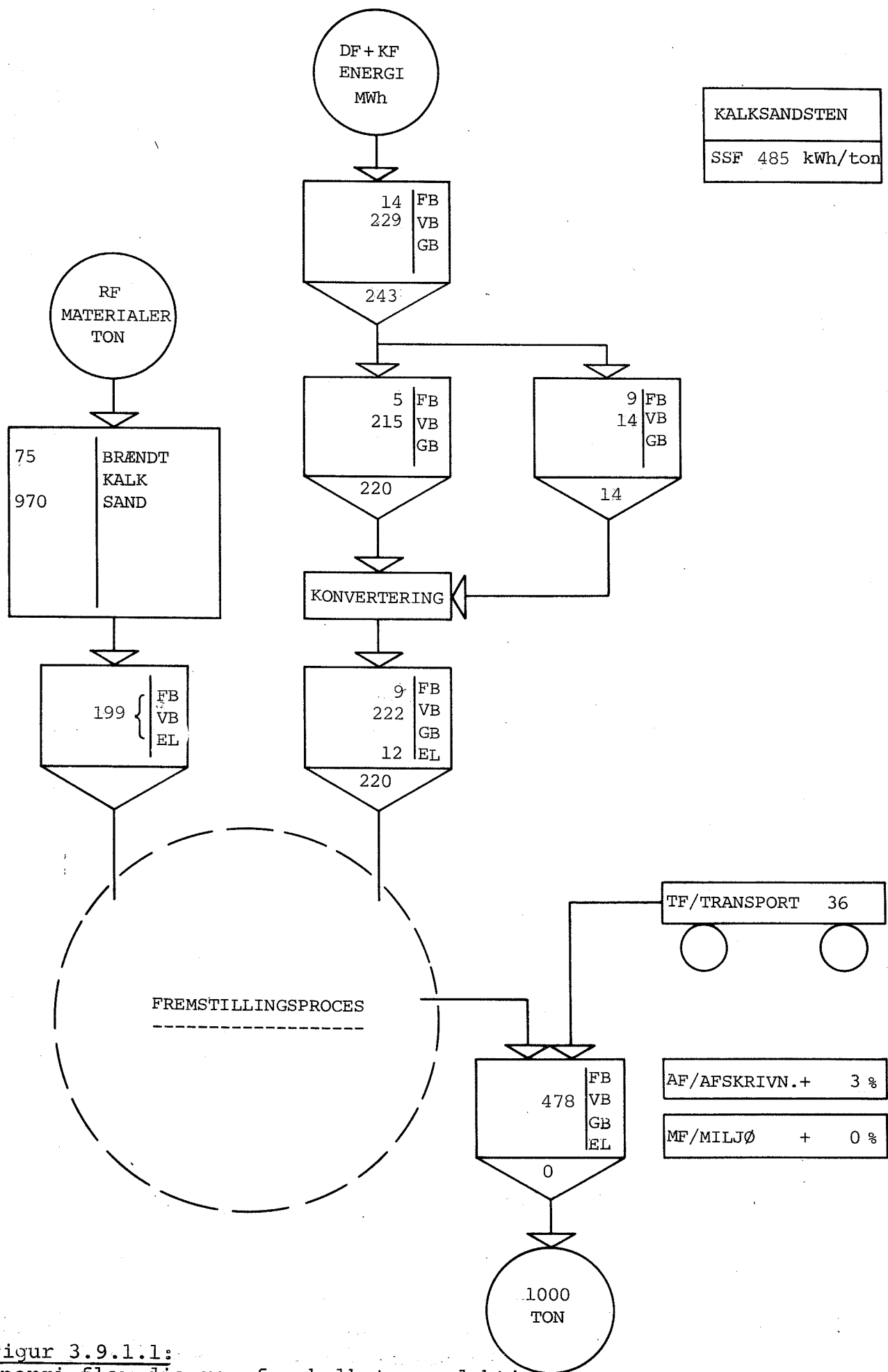
Mørtlen formpresses til sten og da mørtlen er ret stiv, kan stenene afformes med det samme og overgå til hærdeprocessen, som sker i en autoklave.

Denne proces er beskrevet i afsnit 3.9.0. Kalksten leveres normalt i murstensformat, samt blokformat 188 x 188 x 288 mm.

I figur 3.9.1.1 er vist energiforbruget ved fremstillingen af kalksandsten for en dansk virksomhed.

Ud fra tabellen og afsnit 3.9.1.1 kan der opstilles følgende fordeling :

kWh/ton	ASF	MSF	ASF
Råmaterialer	199	108	67
Autoklavering	74	36	0
Forarbejdning	60	18	12
Komfort + spild m.m.	111	20	0
Transport	36	18	4
Afskrivning	7	2	0
Ialt	485	200	85



Figur 3.9.1.1:
Energi-flow-diagram for kalkstenproduktion.
Kilde [spørgeskema].

3.9.2 Betonelementer

Som grundlag for bestemmelsen af ASF benyttes her oplysninger fra en dansk betonelementfabrik, og værdierne er vist i figur 3.9.2.1. Her er komfortforbrugene og elforbruget til vibrering og transport (intern) også taget med, ligeledes råmaterialerne.

Tabellen gælder imidlertid kun for produktion af væg- og dækelementer. For facade- og gavlelementer er energiforbruget på fabrikken det samme som i figur 3.9.2.1, men råmaterialerne er ikke de samme, idet armeringsprocenterne i facadeelementer er væsentlig højere og der er desuden forbrug af isoleringsmateriale.

I produktionen fra figur 3.9.2.1 er der en gennemsnitlig armeringsprocent på 0.38 for et typisk standardvægelement (15 cm tykt) ligger armeringsprocenten på 0.15%, mens den for standard dækelementer er 0.3-0.45%, alt efter spændvidde, og for standardgavlelementer er 0.2%. Armeringsprocenten øges væsentligt i alle ikke-standard-elementer og typiske intervaller for armeringsprocenten er angivet i skemaet herunder:

	Standard	Facade/udsparing	Elementer med større udsparing
Dækelementer:	0.3 - 0.45	0.5 - 0.7	>0.7
Vægelementer:	0.12-0.15	0.15-0.20	>0.2
Facadeelementer:	0.17-0.20	0.2 - 0.35	0.3-0.50

Tabel 3.9.2.1:

Armeringsprocenter for betonelementer.

Her vil der som gennemsnitsværdier blive brugt:

dækelementer :0.45%
 vægelementer :0.15%
 facadeelementer:0.30%

Da mineraluldens tykkelse og rumvægt kan svinge ret meget, vil det være rimeligst at regne dennes tilskud til ASF ud særskilt. Ud fra de ovenstående typiske armeringsprocenter og de tidligere nævnte energiforbrug kan opstilles følgende tabel 3.9.2.2:

	Gennemsnitlig armeringsprocent	ASF	MSF	FSF
Huldækelementer:	0.45%	605	285	92
Vægelementer:	0.15%	520	248	80
Facadeelementer*):	0.3 %	565	266	86

*)Hertil skal lægges bidrag fra mineraluld, som regelen pladebatts af stenuld, rumvægt 75 kg/m².

Tabel 3.9.2.2:

Energiforbrug til fremstilling af beton-elementer.

Mineraluldens bidrag bliver for forskellige tykkelser:

kWh/t	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm	15 cm	20 cm
ASF	41	61	81	101	122	162
MSF	17	26	35	44	52	70
FSF	5	7	9	11	13	18

Energiforbruget til fremstilling af andre præfabrikerede elementer som f.eks. pæle, dragere, søjler m.m. kan udregnes efter lignende formler som for insitubeton, hvor

c er cementvægt pr. færdig m³ beton (kg/m³)

φ er armeringsprocenten (%)

K_1 er energiforbruget til vibrering, udstøbning (kWh/t)

K_2 er energiforbruget til damphærdning (kWh/t)

K_3 er transport, komfort m.m.

$$ASF = A \cdot a + B \cdot \varphi + C + K_1 + K_2 + K_3$$

Som en tilnærmelse kan K_1 , K_2 og K_3 gives værdierne (kWh/ton):

	ASF	MSF	FSF
K_1	13	9	5
K_2	58	24	0
K_3	90	12	3

således, at ligningerne bliver:

$$\left. \begin{aligned} \text{ASF} &= 0.99c + 280 \cdot \varphi + 175 \\ \text{MSF} &= 0.58c + 124 \cdot \varphi + 53 \\ \text{FSF} &= 0.21c + 39 \cdot \varphi + 10 \end{aligned} \right\} \text{ kWh/ton}$$

for damphærdede præfabrikerede betonkomponenter. For betonkomponenter, der ikke er hærdede bliver:

$$\left. \begin{aligned} \text{ASF} &= 0.99c + 280 \cdot \varphi + 117 \\ \text{MSF} &= 0.58c + 124 \cdot \varphi + 29 \\ \text{FSF} &= 0.21c + 39 \cdot \varphi + 2 \end{aligned} \right\} \text{ kWh/ton}$$

og for in situ støbte konstruktioner:

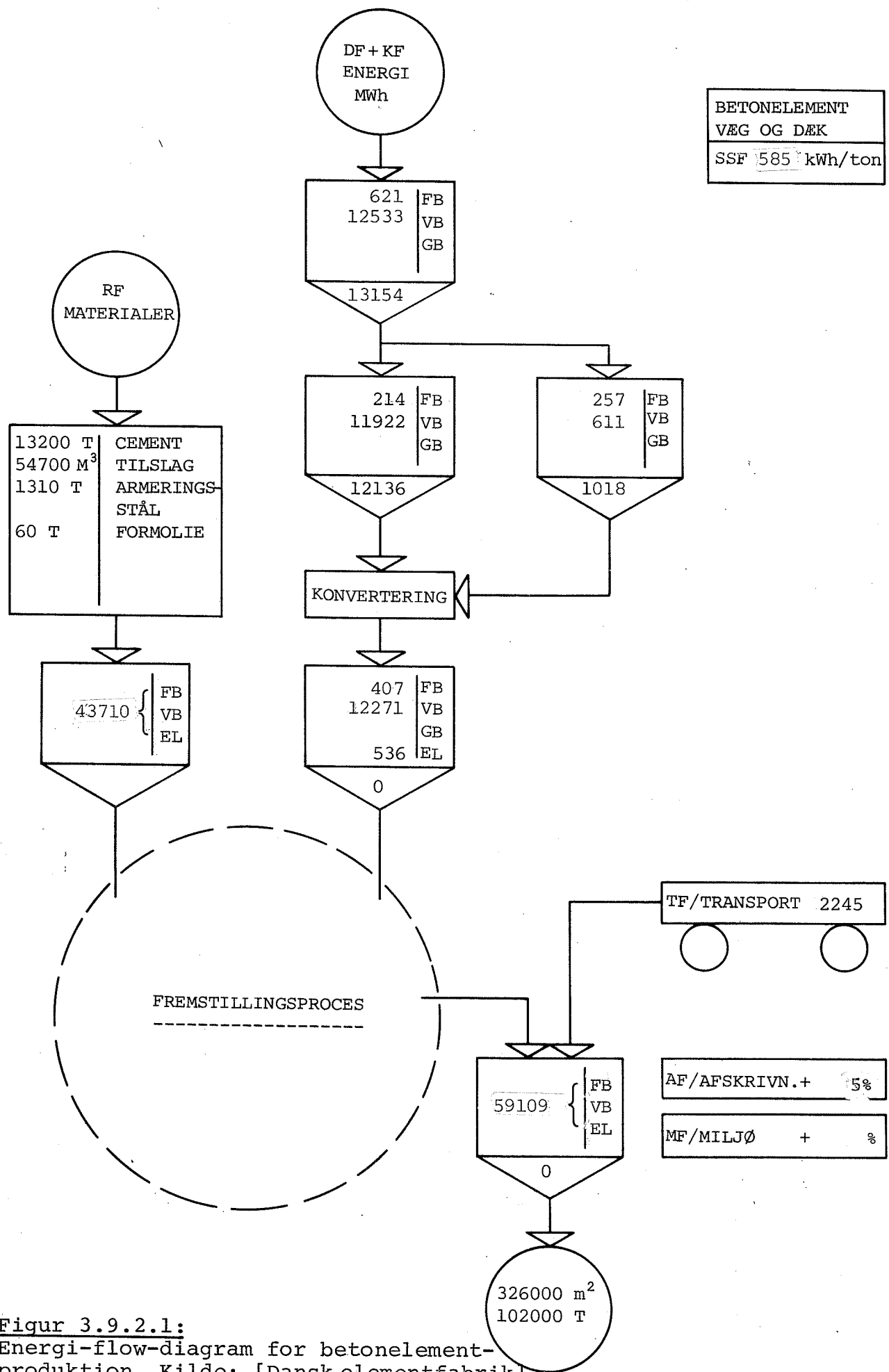
$$\left. \begin{aligned} \text{ASF} &= 2.32c + 660 \cdot \varphi + 35 \\ \text{MSF} &= 1.39c + 290 \cdot \varphi + 18 \\ \text{FSF} &= 0.51c + 94 \cdot \varphi + 5 \end{aligned} \right\} \text{ kWh/m}^3$$

For strengbetonens vedkommende er energiforbruget ikke væsentligt højere, selv om der ofte benyttes andre ståltyper i armeringen. Ifølge [77.1] er energiforbruget i den industri, der leverer legeringsmetaller til stålindustrien af størrelsesordenen 10000 kWh/ton og altså ikke væsentligt højere end i stålindustrien, således at legeret stål kan tillægges et ASF, der er ubetydeligt højere end almindeligt stål.

Koldforarbejdningen kræver heller ikke ret store energimængder i forhold til de øvrige processer i stålfremstillingen.

Det er derimod nødvendigt at medregne den stålmængde, som eventuelt benyttes som kabelgange i forspændte konstruktioner i armeringsprocenten φ .

For produktion af betonelementer angiver [77.0] for en svensk fabrik et forbrug på 1175 MJ/m³ eller 139 kWh/ton. [77.2] angiver et forbrug for præfabrikationsprocesser i almindelighed på 295 kWh/ton - 800 kWh/ton, hvilket må siges at være meget højt i denne sammenhæng. Dette skyldes måske, at tallene også skal dække præfabrikerede træelementer. De angivne tal skal sammenlignes med det i figur 3.9.2.1 viste forbrug svarende til 135 kWh/ton.



Figur 3.9.2.1:
Energi-flow-diagram for betonelement-
produktion. Kilde: [Danske elementfabrik].

3.9.3 Porebeton

Porebeton har en rumvægt mellem 250 kg/m³ og 800 kg/m³. Tilslagsmaterialet er sand og porestrukturen opnås ved at tilsætte aluminiumspulver, der ved brintudvikling danner en fin porestruktur i betonmassen.

Den opblærede, delvist afhærdede beton autoklaveres ved 180°C - 200°C og 8 atmosfæres tryk enten i form af porebetonblokke eller porebetonelementer.

Ved hjælp af oplysninger fra en porebetonproducent i Danmark og [76.0] er ASF og værdierne i figur 3.9.3.1 bestemt for porebeton, rumvægt 600 kg/m². Ud fra afsnit 3.9.0 og figur 3.9.3.1 kan ASF, MSF og FSF bestemmes.

	ASF	MSF	FSF
Råmaterialer:	740	443	97
Procesforbrug*:	395	70	30
Udvinding:	12	6	1
Transport:	55	35	5
Komfort:	25	0	0
Afskrivning:	21	4	-
	1250	560	133

*) Inklusive elforbrug til opskæring m.m.

Tabel 3.6.2.2:

Energiforbrug ved fremstilling af gasbeton (kWh/ton).

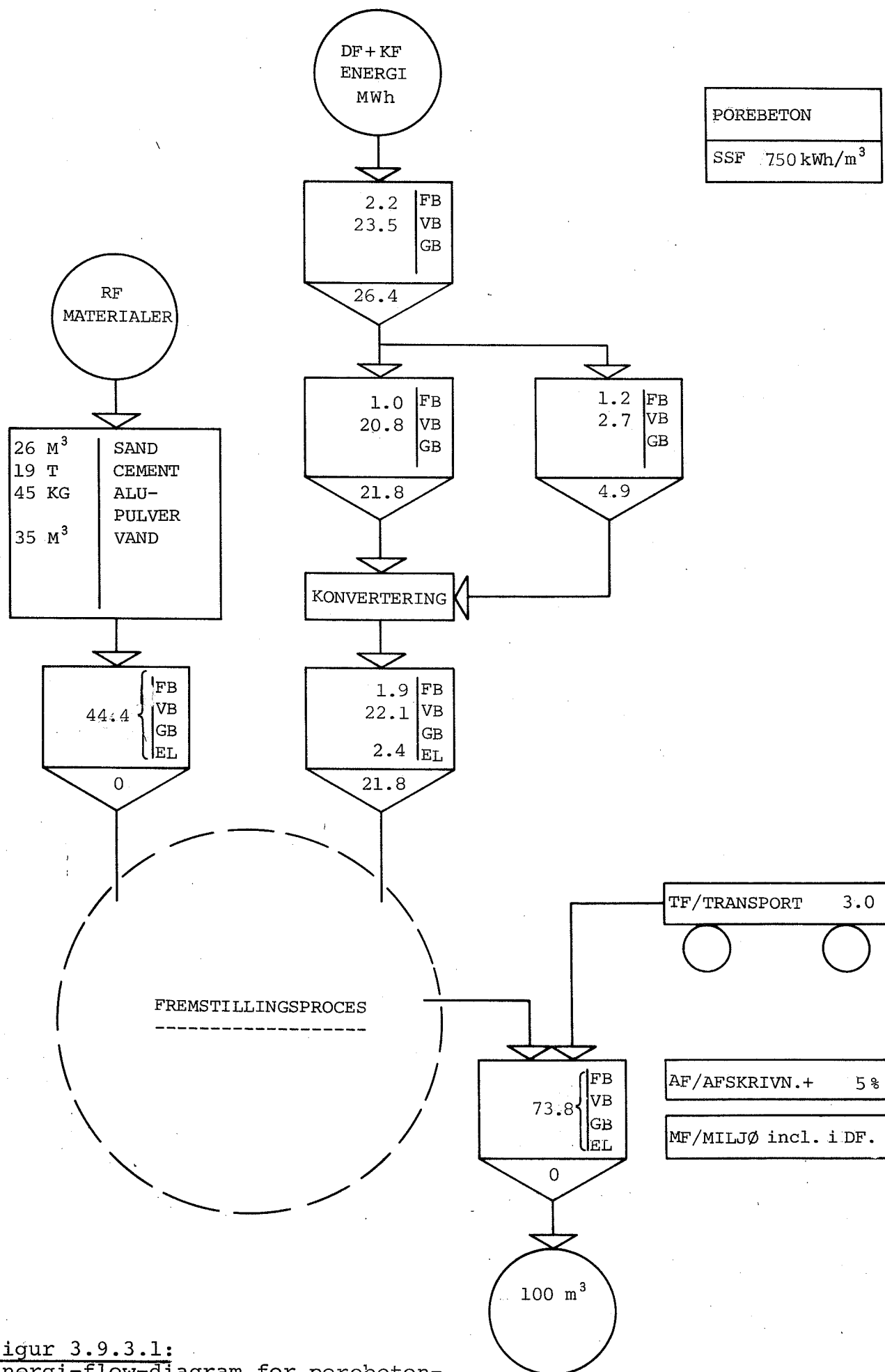
For gasbetonelementer med indlagt armering kan ASF bestemmes som

$$ASF = 1250 + \frac{\varphi}{\rho} \cdot 655$$

φ = armeringsprocent (%)

ρ = rumvægt af element (ton/m³)

Den mest anvendte rumvægt af porebeton er 600 kg/m³, især for blokke. Der er imidlertid nu kommet nye blokke på markedet, som er endnu mere porøse og som har en rumvægt på 250-500 kg/m³. Det har desværre ikke været muligt, at få oplysninger om råmaterialeforbruget i disse sten (væsentligst cementforbruget) og man må derfor benytte udtrykkene for ASF varsomt, når rumvægten er mindre end 600 kg/m³.



Figur 3.9.3.1:

Energi-flow-diagram for porebeton-produkter. Kilde: [76.1] og [spørgeskema].

I stedet for bindemidlet cement, kan der bruges kalk som bindemiddel, idet det er forbindelserne mellem calciumoxiderne og sandets kiseltsyre, der er de vigtigste for opnåelsen af styrke.

Anvendelse af kalk, eventuelt en blanding af kalk og cement er imidlertid ikke udbredt i Danmark.

3.9.4 Letkornsbeton

Med letkorn menes i praksis ekspanderede klinker, ex-ler. Produkter fremstillet af ekspanderede klinker kan deles i tre grupper:

- ex-ler perler
- ex-ler blokke
- ex-ler elementer

Grundmaterialet, ex-ler perler, fremstilles af ler, som brændes ved en meget høj temperatur, hvorved leret overgår til et amorft porøst materiale.

Produktionen kan derfor sammenlignes med teglfremstillingen, blot er der her ikke noget forbrug til formgivning af leret.

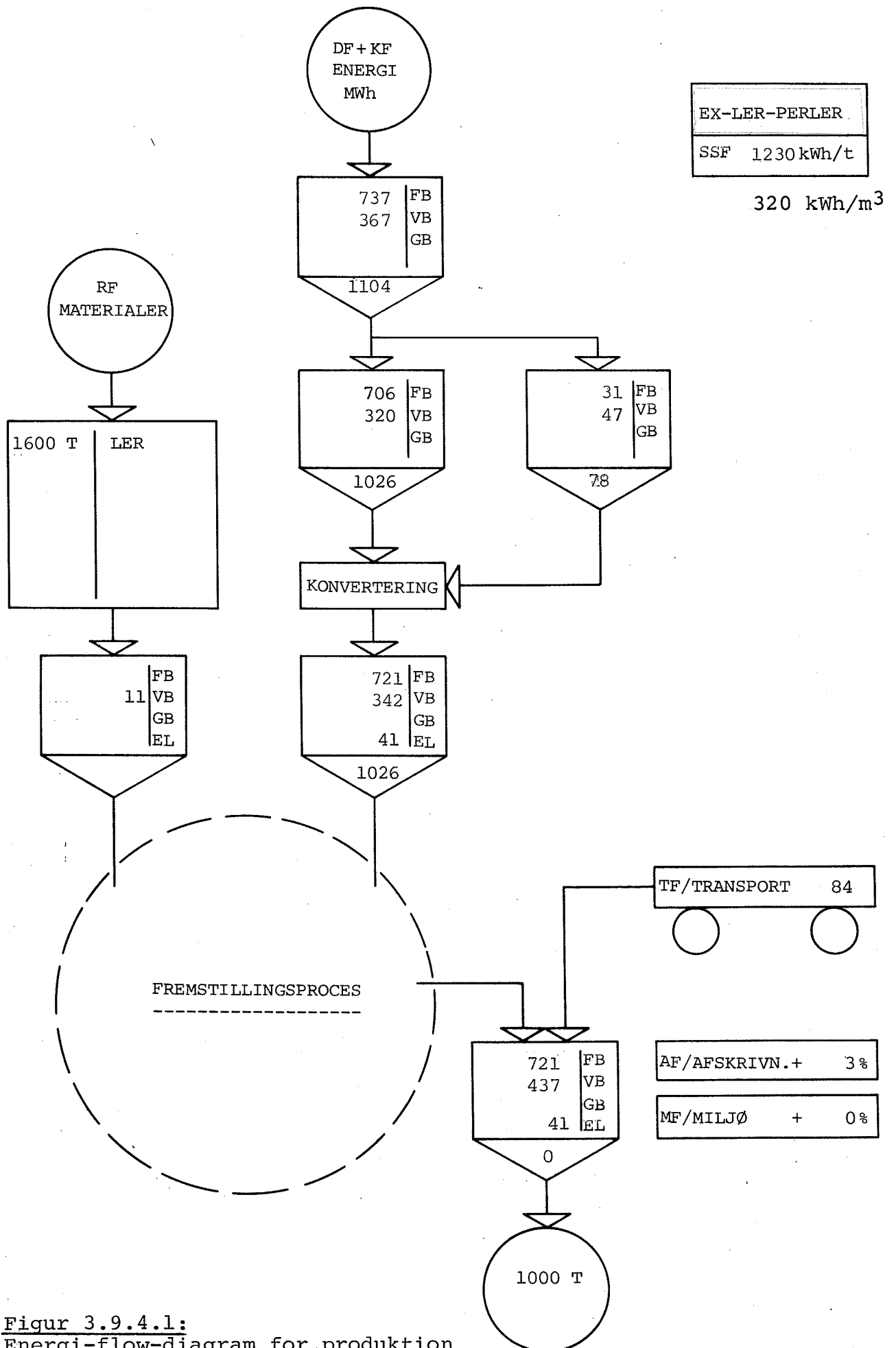
En dansk virksomhed oplyser følgende forbrug:

Elektricitet:	- transport af frisk ler
	- kulmølle
	- æltning
	- brænding
	- blæsere
	- køling
Kul:	- brænding

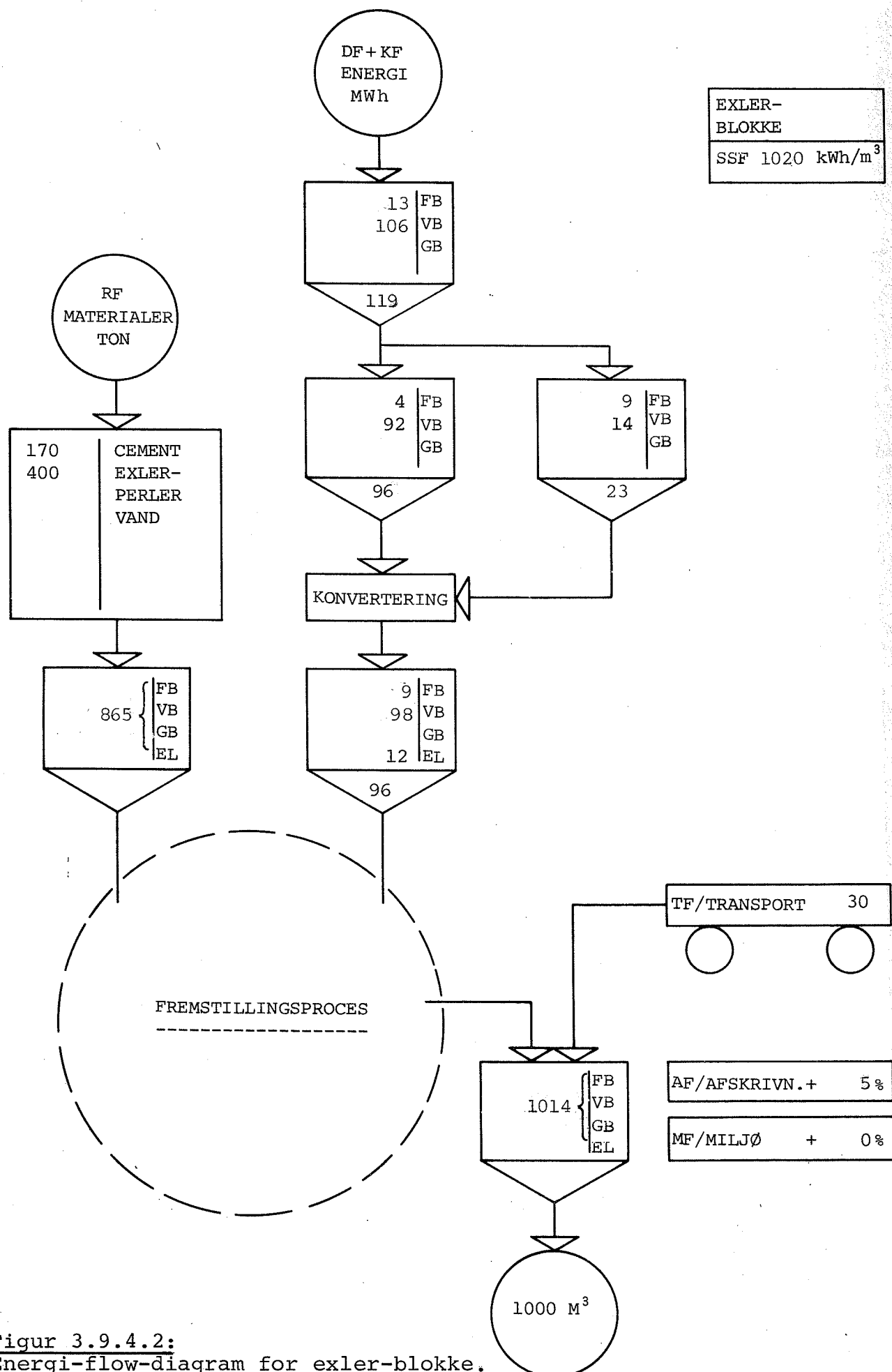
idet brændingen her sker i en roterovn, som i cementfremstillingen. Talværdierne for det samlede forbrug er vist i figur 3.9.4.1.

På forsøgsstadiet har man kunnet konstatere et nedsat kulforbrug i brændingen ved at anvende flyveaske som råmateriale på 490 kWh/ton. Tabene i de nuværende brændingsprocesser er 300 kWh/ton.

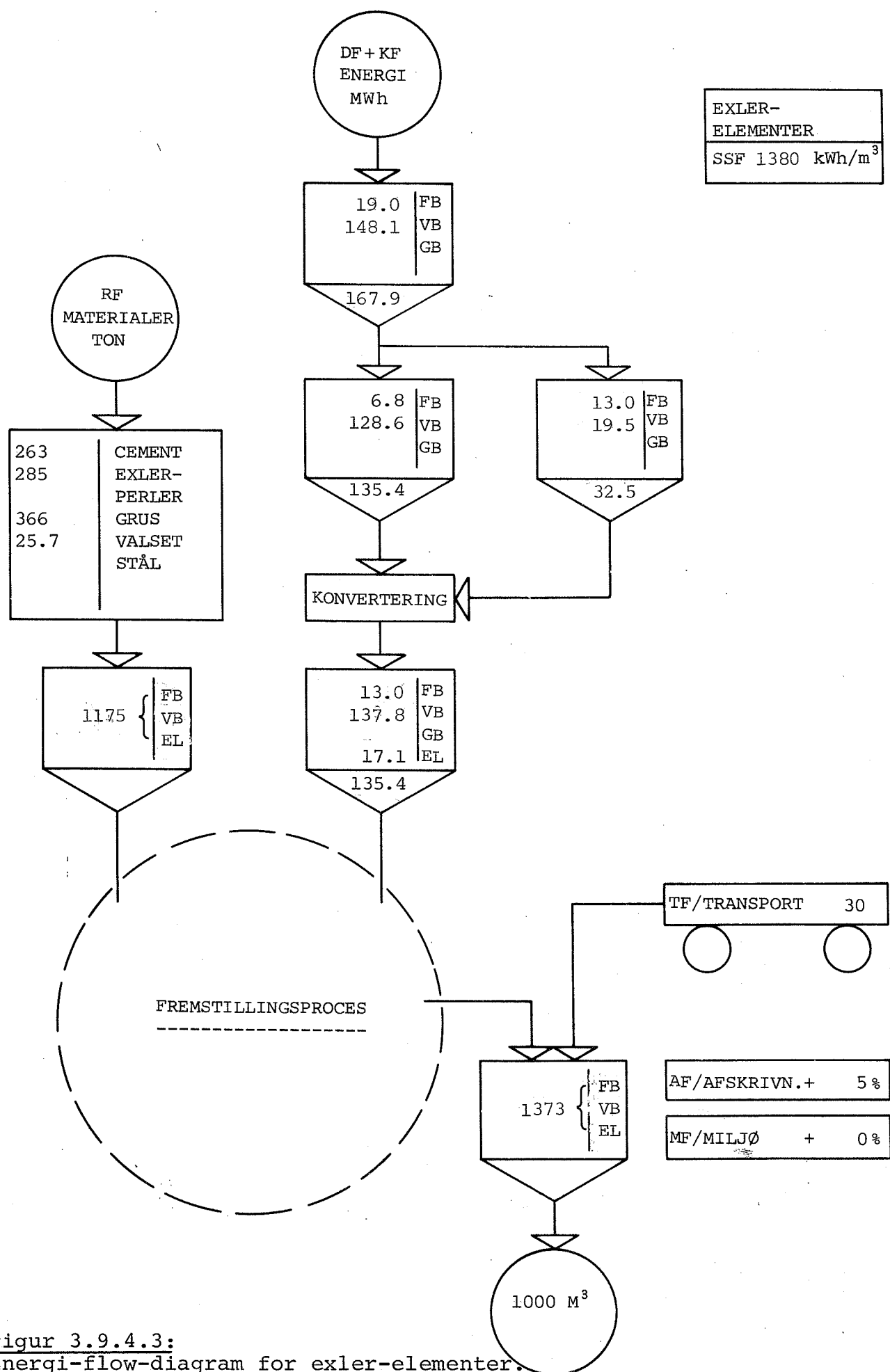
MSF og FSF kan gøres op ud fra værdierne fra teglafsnittet, suppleret med ovenstående og afsnittet om cement.



Figur 3.9.4.1:
Energi-flow-diagram for produktion
af exler-perler. Kilde: [spørgeskema].



Figur 3.9.4.2:
Energi-flow-diagram for exler-blokke.
Kilde: [spørgeskema].



Figur 3.9.4.3:
Energi-flow-diagram for exler-elementer.
Kilde: [spørgeskema].

	ASF	MSF	FSF
Udvinding	8	4	1
Transport (intern)	10	8	5
Æltning	107	83	(20)
Blæsere			
Køling			
Brænding	985	690	210
Kulmølle	10	6	4
Transport (extern)	84	42	8
Afskrivning 3%	32	23	-
	1235	855	250

*) Disse tal bør tillægges en lidt større usikkerhed end den sædvanlige, ifølge kilden $\pm 15\%$.

Tabel 3.9.4.1:

Energiforbrug ved fremstillingen af ex-lerperler (kWh/ton)*.

For ex-ler blokke og -elementer har en anden dansk virksomhed opgivet forbrug af materiale og energi, som ligger til grund for tallene i figur 3.9.4.2 og 3.9.4.3, idet der som slutprodukt, for elementernes vedkommende, både er tale om væg- og dakelementer.

ASF, MSF og FSF bliver (kWh/m³):

	Rumvægt kg/m ³	ASF	MSF	FSF
Blokke	650	1020	630	200
Elementer	900-1000	1380	895	225

3.9.5 Asbestbeton

Asbestcementprodukterne er først og fremmest tagplader og beklædningsplader fremstillet af cement, asbestfibre og vand, eventuelt påført et lag maling.

Ud fra oplysninger fra en dansk asbestcementfabrikant er energiforbruget til fremstillingen vist i figur 3.9.5.1.

Det ses, at langt det største forbrug af energi ligger gemt i råmaterialerne og at virksomhedens energiforbrug udelukkende er i form af elektricitet.

Det må formodes, at virksomhedens nettoenergiforbrug ikke kan sænkes væsentlig, således at tabene her alene kan tilskrives elværkerne.

	ASF	MSF	FSF
Glatte plader*	1930	1150	405
Tagplader	~2400	(1290)	(435)

*) Uden maling.

Tabel 3.9.5.1:

Energiforbrug ved fremstilling af asbest-cementplader (kWh/ton).

Da asbest på grund af helbredsårsager må erstattes af andre fibermaterialer, vil den nye produktion blive baseret på polypropylene-fibre. Fiberindholdet kan da tænkes at blive 30-60 kg/m³. Herved bliver ASF af størrelsesordenen 2500 kWh/ton.

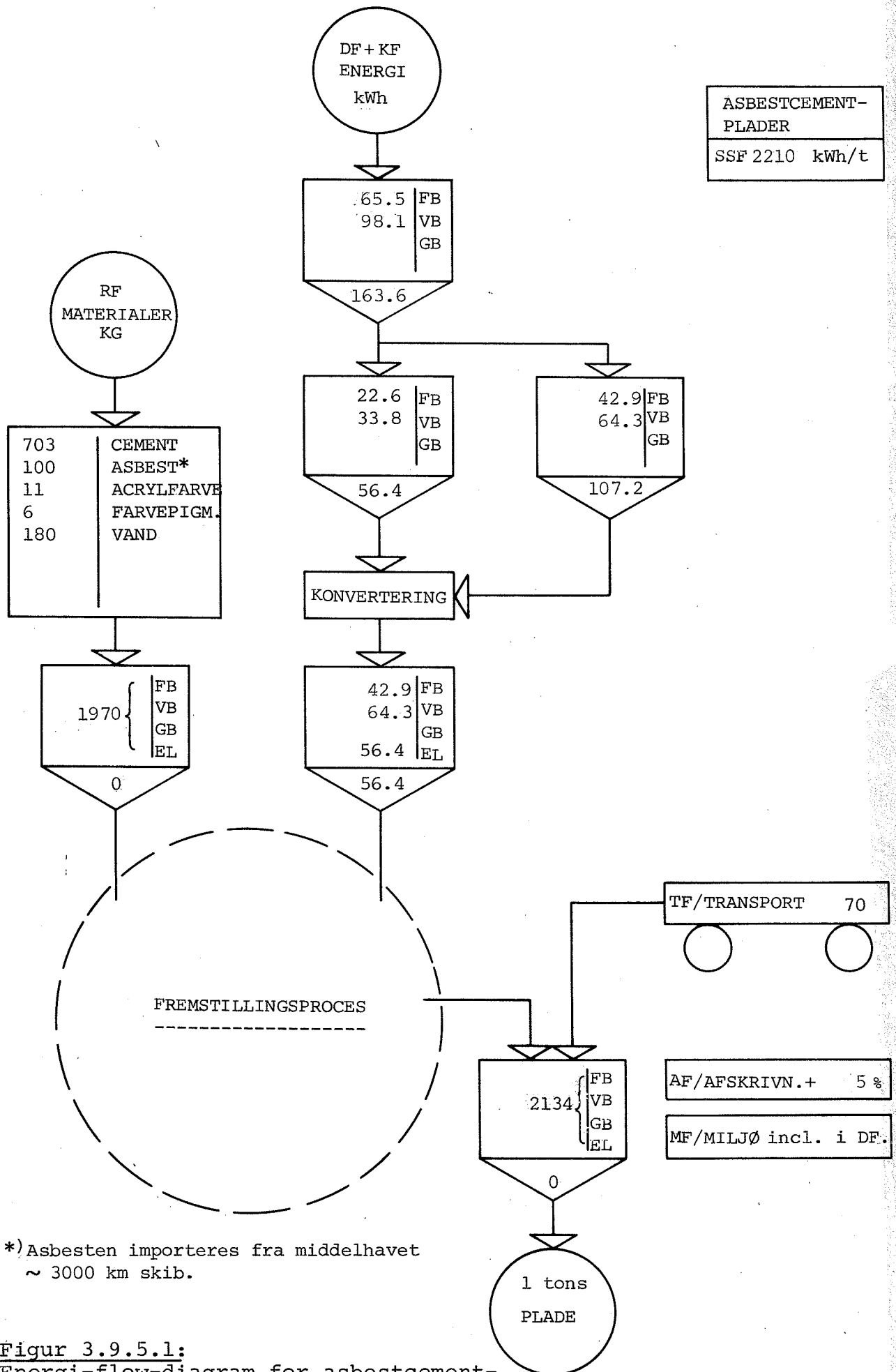
For andre brugelige fibermaterialer er der i tabel 3.9.5.2 opført nogle data.

	Elasticitetsmodul E MPa	Regningsmæssig trækstyrke σ_r MPa	Rumvægt ρ ton/m ³	σ_r/ρ	"ASF" kWh/kg	σ_r /"ASF"
Kevlar	130000	2500	1.45	1600	30.0	83
Asbest	175000	2500	2.7	926	3.0	830
Glasfiber	80000	1100	2.5	440	7.0	157
PP	8000	80	0.9	89	22.0	3.6
Stål	20000	300	7.8	38	7.8	38
Nylon	4000	40	1.1	36	27.0	1.5
Træ	7000	7-8	0.5	15	0.4	19

Tabel 3.9.5.2:

Data for nogle fibermaterialer.

Kilde [78.0], [78.1].



*) Asbesten importeres fra middelhavet
~ 3000 km skib.

Figur 3.9.5.1:
Energi-flow-diagram for asbestcement-
plader. Kilde: [spørgeskema].

3.9.6 Litteraturliste

- [69.0] Zorislav Franjetic:
"BETON-SCHNELLHÄRTUNG"
Østtyskland 1969
- [76.0] Søren Klokholm:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening,
Danmark 1976
- [77.0] "ANALYS AV ENERGIINSATSER I
PRODUKTER OCH FUNKTIONER"
IVA-Rapport nr. 95,
Sverige 1977
- [77.1] "PRACTICAL TECHNIQUES FOR SAVING
ENERGY IN THE CHEMICAL, PETROLEUM
AND METALS INDUSTRIES"
Chemical Technology Review No. 90
U.S.A. 1977
- [77.2] W. Sroczynski m.fl.:
"ACCUMULATED ENERGY CONSUMPTION
IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION
MATERIALS AND LARGE BUILDINGS"
The Tenth World Energy Conference
Istanbul 1977
- [78.0] R.M. Farahar:
"GLASS REINFORCED CONCRETE"
Precast Concrete,
England, november 1978
- [78.1] P.L. Walton og A.J. Majumdar:
"PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES
REINFORCED WITH KEVLAR FIBRES"
Building Research Establishment,
Current Paper CP 57/78.
England 1978

3.10 PLASTMATERIALER

3.10.0 Generelt

Hvad angår plastfabrikationen er der udført temmelig indgående undersøgelser i forskellige lande med hensyn til energiforbruget under produktionen.

Dette skyldes sikkert, at normale brændselskilder som olie, naturgas og kul ikke blot benyttes som brændsel, men samtidigt er råstof i plastproduktionen.

Det viser sig da også, at der ikke er store afvigelser (procentuelt) mellem de forskellige benyttede kilders angivelser. Dette tyder dels på, at undersøgelserne har haft samme lødighed, men skyldes sikkert også de hårde konkurrencebetingelser, der affødes af råvarernes forholdsvis høje pris.

Plastproduktionen kan deles op i nogle typiske procestrin som følger:

- produktion af råmateriale
- produktion af monomer
- polymerisation
- plastforarbejdning

Idet plastmaterialer kemisk set er sammenkædede kulbrintemolekyler, er råmaterialerne mere eller mindre raffinerede, simple kulbrinter.

Ud fra disse råmaterialer fremstiller monomeren, som kemisk kan forklares som enkeltkulbrintemolekylet. Under polymerisationen sammenkædes disse enkeltmolekyler til et plastråmateriale, som kan formgives til slutproduktet.

De mest anvendte polymermaterialer i byggeindustrien er de termohærdende plastarter, hvoraf de relevante er opført i tabel 3.10.0.1 herunder:

Plastart	Anvendelse
1. Polyvinylklorid	Folier, tagrender, rør, gulvbelægning
2. Polyethylen	Folier, elektriske kabler, rør
3. Polypropylen	Folier, fiberbeton
4. Polystyren	Isoleringsmaterialer

Tabel 3.10.0.1:

Anvendelse af plastmaterialer i bygninger.

Disse fire materialer skal først og fremmest beskrives her foruden nogle lidt sjældnere forekommende materialer.

Det påpeges, som det før er nævnt, at råmaterialalets brændværdi ikke regnes med til energiforbruget, medmindre det anvendes som brændsel.

3.10.1 Polyvinylklorid

Polyvinylklorid eller PVC fremstilles af basisråstofferne råolie, naturgas, ilt og klorbjergarter. Til 1 ton PVC anvendes der 0.607 ton klorsalt, 0.238 ton ilt og olie og naturgas svarende til 6100 kWh energi [74.2]. Af denne energi er de 4990 kWh bundet i plasten som råmateriale [77.1], hvoraf der kan udvindes 4980 kWh/ton, idet den nedre brændværdi er 4980 kWh/ton PVC.

Til fremstilling af monomeren vinylklorid, som går over "mellemstofferne" ethylene og acetylene, kræves der ifølge forskellige forfattere:

[75.0]	{ USA	15580 kWh/ton PVC
	{ UK	15640 kWh/ton PVC
	{ NL	16860 kWh/ton PVC

[75.2] USA 1970 21330-4980 = 16350 kWh/ton PVC, altså i gennemsnit 16000 kWh/ton PVC.

Ved polymerisationen af vinylklorid anvendes der energi til styring af processen, selv om der under polymerisationsprocessen udvikles varme af størrelsen 580 kWh/ton PVC. I praksis anvendes der til polymerisationen ifølge forskellige kilder:

[77.1]	USA	3900 kWh/ton PVC
[74.2]	{ NL	2530 kWh/ton PVC
	{ UK	2690 kWh/ton PVC
	{ USA	2690 kWh/ton PVC
[75.2]	USA	5365 kWh/ton PVC

alt efter anvendt metode. I dette tilfælde må det være tallene for UK og NL, der er relevante, da vi ikke importerer PVC fra USA. I gennemsnit kan energiforbruget til polymerisation sættes til 2600 kWh/ton.

På dette stadi optræder PVC'en som en granuleret plast, PVC-kugler.

Smeltning og formgivning af plasten kræver varmeenergi og elektricitet. [76.1] angiver for produktion af PVC-folie et energiforbrug på 2560 kWh/ton og [75.0] og [74.2] angiver for polyethylen tilsvarende forbrug på henholdsvis 2375 og 2760 kWh/ton.

3.10.2 Polyethylene

Polyethylene, her Low Density Polyethylene, LDPE, fremstilles udfra raffinerede olieprodukter eller naturgas. Disse kulbrinter omformes til monomeren ethylene. Til denne proces kræves der en energimængde eksklusive råmaterialets brændværdi, som ifølge forskellige kilder er (den nedre brændværdi er 12610 kWh/ton PE):

[75.2]	Naturgas	→ Ethane	USA	4605 kWh/t PE
		Ethane	→ Ethylene	USA 6440 kWh/t PE
[77.1]	Ethane	→ Ethylene	USA	8175 kWh/t PE
	Naphta	→ Ethylene	USA	4170 kWh/t PE
[75.0]	Råolie	→ Naphta	NL	400 kWh/t PE
		Naphta	→ Ethylene	NL 7170 kWh/t PE
		Naphta	→ Ethylene	UK 5695 kWh/t PE

I Europa fremstilles ethylen hovedsageligt ud fra naphta og tillægges et energiforbrug på 6500 kWh/ton PE i det følgende.

Polymerisationen er ligesom for PVC varmeafgivende, og der frigives ved dannelsen af 1 ton PE 1300 kWh. Ud over denne mængde anvendes der

[77.1]	USA	4900 kWh/ton PE
[75.2]	USA	6440 kWh/ton PE
[75.0]	USA	11940 kWh/ton PE
	UK	5080 kWh/ton PE
	NL	5055 kWh/ton PE

altså af størrelsen 5100 kWh/ton PE.

For High Density Polyethylene, HDPE, er tallene omtrentligt af samme størrelse, se tabel 3.10.5.1.

3.10.3 Polypropylene

Propylene fremstilles her i Europa af råolie og kræver ifølge [74.2] 9400 kWh/ton PP. Polymerisationen angives at kræve

[75.0]	UK	7890 kWh/ton PP
[77.1]	USA	1905 kWh/ton PP

Det er rimeligst at anvende tallet fra UK og polymerisationen tillægges her et energiforbrug 7900 kWh/ton.

Polypropylenens brændværdi angives af [74.0] til ca. 13000 kWh/ton.

Bearbejdningen af polypropylene til folie angives af [74.2] til 2800 kWh/ton for almindelig folie og 17400 kWh/ton for "orienteret" folie.

3.10.4 Polystyrene

Polystyrene fremstilles af råolie og har flere monomerer som mellemprodukt.

Polystyrenen polymeriseres i de fleste tilfælde ud fra benzene, ethylene og isopentane.

Disse produkter kræver til fremstillingen

[75.0] NL	10800 kWh/ton PS
UK	10500 kWh/ton PS
USA	9300 kWh/ton PS
[74.2] USA	7185 kWh/ton PS

[77.1] angiver den nedre brændværdi af PS til 11440 kWh/ton og polymerisationsenergien til 2115 kWh/ton.

Polymerisationen kræver ifølge

[74.2] USA	11134 kWh/ton
[75.0] UK	14300 kWh/ton
NL	13300 kWh/ton
USA	12250 kWh/ton

I gennemsnit, svarende til Europa, anvendes i det følgende 13000 kWh/ton PS.

3.10.5 Fastlæggelse af energiforbruget

Det plast, der anvendes i Danmark, importeres enten som færdigvarer eller som halvfabrikata, d.v.s. plastgranulat eller monomerer. Importen kommer hovedsagelig fra Vesttyskland, Holland, Sverige og Norge, jvf. [77.0] og [78.0]. Der regnes i det følgende med en transportafstand til disse lande på gennemsnitligt 600 km, og en indenlandsk middeltransportafstand på 100 km henholdsvis for transport med tog/skib og lastbil. Derudover må olien, i det omfang den benyttes som råmateriale, tillægges et transportenergiforbrug svarende til 10000 km med skib.

I tabel 3.10.5.1 er energiforbruget for de fire behandlede plastarter opsummeret.

Hertil skal bemærkes, at "polymerisationsvarme" angiver den varme, der frigives i en teoretisk isoleret polymerisation.

Denne varme frigives selvfølgelig også i de praktiske processer, men kan da ikke måles. Med "nedre brændværdi" menes der den varmeenergi, man teoretisk kan udnytte ved en forbrænding af plasten, den øvre brændværdi, fratrasket den varme, der er bundet i røggassens faste partikler og vanddamp.

	PVC	HDPE	LDPE	PP	PS
Råmateriale*	6600	13200	13200	13200	13200
Monomerproduktion	16000	6500	6500	9400	10000
Polymerisation	2600	4800	5100	7900	13500
Plastforarbejdning	2560	2550	2500	2800	2500
Nedre brændværdi	-4980	-12610	-12610	-13000	-11440
Transport	1650	1650	1650	1650	1650
Afskrivning ~1%	250	150	150	200	250
Komfort	~0	~0	~0	~0	~0
ASF	24630	16240	16490	22150	29660
Råmateriale*	6600	13200	13200	13200	13200
Monomerproduktion**	12900	4800	5100	2370	1950
Polymerisation***	230	690	530	500	230
Plastforarbejdning****	1900	1900	1900	1900	1900
Nedre brændværdi	-4980	-12610	-12610	-13000	-11440
Transport	825	825	825	825	825
MSF	17475	8805	8945	5795	6665
Procesvarme for:					
Naturgas → ethan	~0	~0			}900
Ethan → monomer	1775	1775			
Polymerisationsvarme	-580	-1060	-1300		-160
FSF skøn	2000	1000	1000	1000	1000

*) Inklusive brændværdi af råmateriale

**) Grænsemål for raffineringsindustrien i USA, 1980 [77.1].

***) Nettovarme- og elforbrug minus genvindelig energi i Montesa-to-processer [77.1].

****) Angivelser i [76.1] fratrasket tab.

Tabel 3.10.5.1:

Summeret energiforbrug til fremstilling af
tmaterialer (kWh/ton).

3.10.6 Andre plastmaterialer

Øvrige plastmaterialer er ikke anvendt i stort omfang i bygningsindustrien. Der skal derfor her blot samles oplysninger sammen fra forskellige kilder ([77.1], [75.0] og [74.1]).

	Råmateriale	Produktion	Ialt	Afrundet
Polyester	6200	800	7000	7000
Polyesterfibre	6200	12900	19100	19000
Phenoplast	4100	6400	10500	11000
Acrylplast	15700	1500	17200	17000
Acrylfibre	15700	30600	46300	46000
Nylon	10300	3500	13800	14000
Nylonfibre	10300	16500	26800	27000
Polyurethan	-	-	18500	19000

Tabel 3.10.6.1:

Energiforbrug eksklusive transport og afskrivning til fremstilling af diverse plastmaterialer (kWh/ton).
([77.1], [75.0] og [74.1]).

Værdierne i tabel 3.10.6.1 må ikke tillægges samme usikkerhed som de tidligere angivelser. Hvor disse materialer indgår i andre konstruktioner, er det som regel med så små mængder, at den større usikkerhed ikke påvirker den samlede usikkerhed på energiforbruget til fremstilling af konstruktionen.

En undtagelse er glasfiberarmeret plast, som dog kun anvendes i meget specielle bygningsværker.

3.10.7 Litteraturliste

- [74.0] "THE COMPETITIVENESS OF LDPE, PP
AND PVC AFTER THE 1973 OIL CRISIS"
Imperial Chemical Industries Ltd.
England 1974
- [74.1] P. Bourrelrier, R. Hamalin:
"MARERIAUX ET ENERGIE"
Annales des Mines,
Frankrig, maj-juni 1974
- [74.2] R.S. Berry, H. Makino:
"ENERGY THRIFT IN PACKAGING AND
MARKETING"
Technology Review, Vol.76, No. 4
U.S.A. 1974
- [75.0] R.S. Berry m.fl.:
"AN INTERNATIONAL COMPARISON OF
POLYMERES AND THEIR ALTERNATIVES"
Energy Policy,
England, juni 1975
- [75.1] P.F. Chapman:
"THE ENERGY COST OF MATERIALS"
Energy Policy,
England, marts 1975
- [75.2] "THE DATA BASE. THE POTENTIAL FOR
ENERGY CONSERVATION IN 9 SELECTED
INDUSTRIES"
Vol. I + III
Office of Industrial Programs,
U.S.A. 1975
- [76.0] Søren Klokholm:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG, IKKE-PUBLICEREDE
RAPPORTER"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976
- [76.1] Søren Klokholm:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976
- [77.0] "VARE- IND- OG UDFØRSEL"
Statistiske Meddelelser,
Danmarks Statistik 1977
- [77.1] "PRACTICAL TECHNIQUES FOR SAVING
ENERGY IN THE CHEMICAL, PETROLEUM
AND METALS INDUSTRIES"
Chemical Technology Review No. 90,
U.S.A. 1977
- [78.0] "VARESTATISTIKKEN FOR INDUSTRIEN
1975-77"
Danmarks Statistik 1978

3.11 ANDRE MATERIALER

3.11.0 Generelt

Dette afsnit er beregnet som en slags opsamling af de byggematerialer, der ikke undervejs har kunnet indpasses i inddelingen. Der vil således her blive beskrevet forholdene for følgende materialer:

1. Fugemasser og fugeprofiler
2. Asfalt og asfaltpap
3. Lim
4. Gipsplader
5. Imprægneringsvæsker og maling
6. Opsamling

Beregning af mange af de størrelser, der angives i disse følgende afsnit foregår efter skøn ud fra det givne kildemateriale.

Der har ikke kunnet gennemføres en så tilbundsående analyse som i de tidligere afsnit, især med hensyn til MSF og FSF. Størrelserne er kun beregnet til de senere beregninger af boligernes akkumulerede energiforbrug. Hvis ikke andet angives, antages for MSF og FSF beregningsfaktorer som under transport, d.v.s. henholdsvis 0.5 og 0.1.

3.11.1 Fugemasser og fugeprofiler

Angivelserne i dette afsnit må tillægges en større usikkerhed end normalt, $\pm 25\%$.

Fugemasser er som regel syntetiske gummi-produkter på oliebases. Energiforbruget til fremstilling af disse produkter er ikke beskrevet i den undersøgte litteratur, men her vælges at tillægge de syntetiske fugemasser samme energiforbrug som SBR* i [75.2] plus et gennemsnitligt bidrag for produktion af fugemasse ud fra gummiråstof-fet SBR, som angives til 850 kWh/ton af [77.0], altså ialt 17330 ~ 17300 kWh/ton.

For almindelig kit kan oplysninger fra [64.0] hjælpe til at finde energiforbruget til fremstillingen som det er vist i tabel 3.11.1.1.

*) Styrene Butadiene Rubber

Materialeindhold	kg/ton	energiforbrug kWh/ton
Raffinerede planteolier	100	200
Polybutene	50	150
Animalske syrer	2	~0
Cobalt naphtanate	1	~0
Formalet kridt	750	116
Fibrøs Magnesiumsilicat	100	300
Transport af råmaterialer		240
Transport af kit+ produktion, skøn		150
		<u>1160</u>

Tabel 3.11.1.1:
Materialeindhold og energiforbrug for linoleumskit [64.0] og [77.0].

	ASF	MSF	FSF
Syntetisk fugemasse	17300	8600	175
Linoleumskit	1160	580	115

Tabel 3.11.1.2:
Det akkumulerede energiforbrug ved fremstilling af fugemasser (kWh/ton).

Fugeprofiler er i dag fortrinsvist lavet af neoprene eller andre kunstgummier. Neoprene er et syntetisk gummi, der som andre syntetiske gummiprodukter fremstilles ved polymerisation af kulbrintestoffer. Kulbrintemonomererne stammer fra raffineringsprocesserne af råolie eller kul.

[77.0] angiver for neoprene produktion ud fra monomeren et forbrug på 2300 kWh/ton.

Monomererne er klorbutadiene. Butadiene fremstilles af råolie eller naturgas. Denne "vej" er ikke beskrevet i den litteratur, der er undersøgt, men en lignende kunstgummiart, SBR - Styrenebutadienerubber - er beskrevet i [75.2], hvor der angives et totalt energiforbrug eksklusive brændværdien på 16480 kWh/ton.

Dette vil her blive anvendt for alle kunstgummiarter, der er baseret på butadiene, d.v.s. SBR, neoprene, polybutadiene.

Regnes der med et transportbidrag analogt til afsnit 3.10 af olie eller færdigt produkt på 1600 kWh/ton fås ASF for fugeprofiler til 18100 kWh/ton.

ASF	MSF	FSF
18100	9000	1800

Tabel 3.11.1.3:

Det akkumulerede energiforbrug ved fremstilling af fugeprofiler.

3.11.2 Bitumen og asfaltpap

Bitumen er råprodukt for alle asfaltprodukter, mens asfalt oftest betegner en blanding af bitumen og tilslag, som f.eks. sand eller grus. Denne terminologi bliver dog mange gange blandet sammen.

Bitumen er et materiale, som ikke kan fastlægges nøje, som f.eks. kalk eller aluminium.

Endnu mere kaotisk bliver det, når man vil forsøge at opgøre energiforbruget til fremstillingen. Bitumen er et af slutprodukterne i raffineringen af råolie (se figur 3.11.1), hvor råoliens bestanddele adskilles. Hvorledes skal energiforbruget ved raffineringen fordeles på produkterne? Dette kan diskuteres, men her vælges det at fordele energiforbruget ligeligt på alle raffineringsprodukterne, hvilket efter angivelser i [77.0] bliver 144 kWh/ton produkt.

	Bitumenindhold	Andet	Anvendelse
Blæst bitumen	100 vægt %		Tagpap
Ren bitumen	100 vægt %		Råmateriale
Bitumenemulsion	60-70 vægt %	Vand (Sand)	Vejbygning, klæbemasse
Cut back-bitumen	50-80 vægt %	Olie, Petroleum	Vejbygning
Asfaltbeton	5-15 vægt %	Sten, Vand, Sand	Vejbygning
Tjære	0	Kuldestillat	Varm strygning, klæbemasse

Tabel 3.11.2.1:

Asfalttyper og deres anvendelse.

[75.1] angiver et forbrug på 170 kWh/ton. Råolien, som her er et råmateriale, må analogt til afsnit 3.10 tillægges et transportenergiforbrug på 1500 kWh/ton og tilsvarende tillægges der for indenlandsk transport af bitumen et forbrug på 60 kWh/ton. Brændværdien af bitumen er 11130 kWh/ton og rumvægten er $\sim 1.05 \text{ ton/m}^3$.

Bitumenen transporteres fra raffinaderierne i flydende tilstand ved ca. 150°C til asfaltdepoter eller oliedepoter. Her bearbejdes den til f.eks. blæst bitumen (oxyderet bitumen) eller Cut-back-bitumen.

Under disse processer må bitumenen stadig holdes varm. Fra et amerikansk blæsningsværk oplyses et energiforbrug på 260 kWh/ton blæst bitumen [79.0].

Efter behandlingen fyldes bitumenen ind i langtidslagertanke, hvor det bevares fra 1 til 4 måneder ved en temperatur af 150°C . Ved udlevering pumpes asfalten så over i mindre udleveringstanke, hvor den ønskede leverancetemperatur opnås, d.v.s. $185\text{--}215^\circ\text{C}$.

Dansk Shell oplyser et forbrug til langtidslagring og leverancelagring 560 kWh/ton.

Hvor lang tid asfalten således lagres dels på raffinaderiet (her i Rotterdam), dels i oliedepotet og bearbejdningsevirsomheden er meget svært at fastlægge eftersom lagringsmængderne i disse år afhænger meget af forventede olieprisstigninger.

Her antages det, at bitumenen lagres ialt 4 måneder i langtidslagre og 1 måned i udleveringslagre. Transport anslås at vare 4 dage med skib og 2 timer med lastbil.

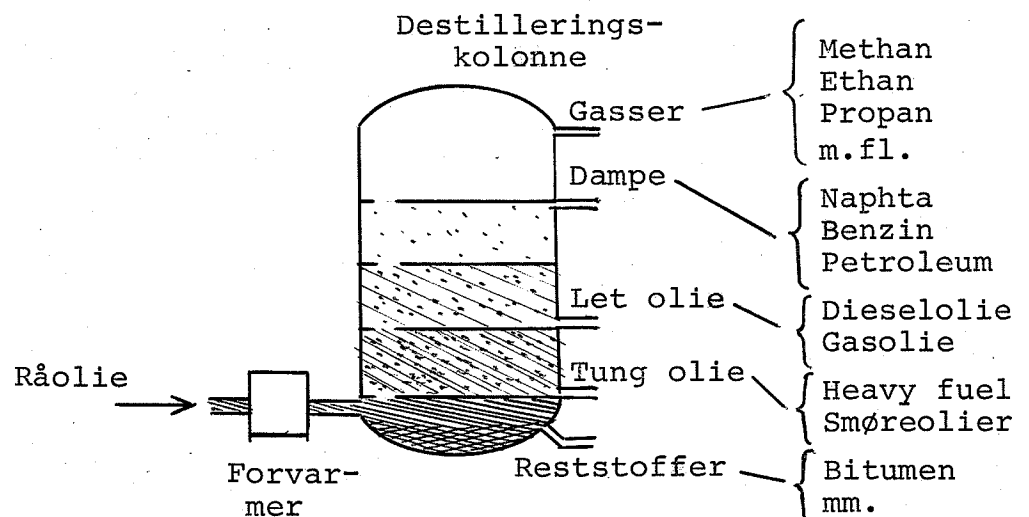
Ekstratillæg for transport af asfalt kan anslås til 0.7 kWh/dag/ton for skib (5 tanke á 14000 tons) og ~ 0 kWh/ton for biler, idet transporten da er så kort, at temperaturen i de isolerede tanke falder ganske få grader.

Alt i alt kan følgende tal opstilles for energiforbruget til fremstilling af bitumen.

	ASF	FSF	MSF
Råprodukt: råolie	1500	750	150
Rådestillering	170	85	17
Langtidslagring	1000	500	100
Leverancelagring			
Lagring under transport	70	35	7
Transport i DK	60	30	6
Blæsning	260	130	25
Ren bitumen	2800	1400	280
Blæst bitumen	3060	1530	305

Tabel 3.11.2.2:

Akkumuleret energiforbrug til fremstilling af bitumener (kWh/ton).



Figur 3.11.2.1:

Principskitse af raffineringsproces af råolie.

Asfaltpap er ligeledes et ret varieret produkt. Imprægneringsmaterialet er dog altid en asfalt, som typisk består af ca. 55-65% bitumen, 0-15% skifer og 20-30% sand og talkum. Bæreværet kan enten være jutevæv, uldpap eller glasfiber.

Derudover kan oversiden af pappet være forsynet med skifergrus eller der kan være indlagt folier.

I praksis skelnes mellem tre forskellige pap (se tabel 3.11.2.2), som hver tjener sit formål.

Fremstillingen af tagpappen kræver et energiforbrug, som kan deles op i tre hovedforbrug:

- varme til opvarmning og iltning af bitumen
- varme til lagring af bitumen ved den ønskede blandingsstemperatur
- varme til tørring og opvarmning af sand

Forbrug til disse operationer er givet for asfaltproduktion i [75.1], hvilket danner grundlag for en konstrueret energiforbrugsfordeling for tagpap i tabel 3.11.2.3.

Type	Bærevæv	Vægt pr. m ² kg/m ²	Belægning	Anvendelse
Overpap	uld, glasfiber	4.5	skifer	øverste lag, overflade
Underpap 1	uld, glasfiber	4.0	ingen	næstøverste/øverste lag
Underpap 2	jute, uld	2.0	ingen	nederste lag

Tabel 3.11.2.3:
Asfaltpaptyper og deres anvendelse.

Råmaterialer:	Bærevæv	{ glasvæg 30 kg uldfiltvæg 85 kg }	200
	Sand	140 kg	2
	Olie	35 kg	395
	Bitumen, blæst	590 kg	1805
	Talkum/Skiifer	240 kg	72
	Lagring i fabrik	}	265
Produktion:	Tagpapproduktion		
	Transport		60
Ialt:			2800

Tabel 3.11.2.4:

Energiforbrug i tagpapproduktionen (kWh/ton).

Dette tal må tillægges en betydelig usikkerhed således, at energiforbruget til fremstilling af tagpap ligger mellem 2400 kWh/ton og 3200 kWh/ton.

Denne usikkerhed forøges endnu mere, når man kun betragter ét af de mange tagpapkvaliteter. For at kunne komme videre bruges der i det følgende de i tabel 3.11.2.5 givne værdier.

	ASF	MSF	FSF
kWh/ton	2800	1400	300

Tabel 3.11.2.5:

Det akkumulerede energiforbrug ved fremstilling af tagpap.

Ifølge [79.0] anvendes der i dag hovedsagelig ved tagdækning en to-lagsdækning, som består af en glasfiberoverpap (6 kg/m²) og en uldfiltunderpap (2 kg/m²). Det nederste lag klæbes fuldt, mens det øverste svejses.

Til varmeklæbning benyttes en ren bitumen og til koldklæbning en blanding af bitumen og terpentin (60:40).

Varmklæbningen kræver ifølge [79.0] et forbrug på 0.63 kWh/m² klæbelag (gas), mens svejsning af tagpap til underlaget kræver 1.05 kWh/m² klæbelag.

Under koldklæbningen fordamper en stor del af terpentinene i koldklæberen. Dennes brændværdi må indregnes i energiforbruget, idet den ikke senere kan bruges som brændsel. Derved bliver denne klæbemetode betydeligt dyrere end varmeklæbningen.

Alt i alt repræsenterer den ovenfor nævnte tagdækning (uden isolering og underlag) et energiforbrug på 27.8 kWh/m².

3.11.3 Lim

De relevante lime til bygningbrug er formaldehyd-lime, P.V.A.-lime, Kasein-lime og cellulose lime.

[75.3] og [77.0] angiver energiforbrugene til nogle af råmaterialerne til disse lime.

[75.3] Urea, (NH ₂) ₂ CO	4000 kWh/ton
[77.0] Formaldehyd, HCHO	4000 kWh/ton
[77.0] Fenol  OH	5000 kWh/ton
[76.0] Cellulose	25-3500 kWh/ton
[75.3] Vinyl-acetat	9900 kWh/ton

Her skal kort beskrives følgende lime:

Urea formaldehyd

Urea formaldehyd fremstilles ved at lade urea og formaldehyd polymerisere. Denne polymer er plastisk, men kan bringes til hærkning ved at tilsætte syre eller ved opvarmning.

Der hører derfor en hærder til limen, som blandes i lige før brugen, og limen opvarmes som reglen efter sammenføjjningen af emnerne.

Til polymerisationen kræves ca. dobbelt så meget urea som formaldehyd, ca. 700 kg urea og ca. 350 kg formaldehyd til 1 ton urea formaldehyd.

Som hærder kan f.eks. anvendes ammonium-klorid. Ureaformaldehyd-limen er flydende og indeholder ca. 60% tørstof.

"ASF" er således tilnærmelsesvis 2500 kWh/ton.

Fenol-formaldehyd

Det er de varmhærdnende fenollime, der anvendes mest. Disse fremstilles af fenol og formaldehyd i vægtforholdet 1:2.

Limen kræver alkaliske hærdere, som f.eks. natriumlud (NaOH). Tørvægtprocenten af den flydende lim er 40%.

Dette giver et "ASF" på ca. 1900 kWh/ton.

Melamin-formaldehyd

Denne lim fremstilles ved at lade melamin og formaldehyd polymerisere, hvorved der anvendes melamin og formaldehyd i vægtforholdene 1:3.

Yderligere oplysninger om denne limtype kunne ikke tilvejebringes. Som et skøn kan samme værdi som resorcinol-formaldehyd angives.

Resorcinol-formaldehyd

Resorcinol er et fenolbaseret stof (indeholder to fenolringe) og fremstillingen af resorcinolformaldehyd sker analogt med fenolformaldehyd.

Det antages derfor, at "ASF" for resorcinolformaldehyd ikke ligger væsentligt over fenolformaldehyd og skønnes til 2000 kWh/ton.

P.V.A.

Polyvinylacetat fremstilles ved polymerisation af vinyl-acetat. Denne lim anvendes sjældent i konstruktioner på grund af krybningsegenskaber af limen. Den anvendes kun til indendørs brug. Skønnet energiforbrug 13000 kWh/ton tørstof.

Kasein- og cellulose-lime

Disse limtyper anvendtes meget i tidligere tider, men er ikke konkurrencedygtige længere, og skal derfor ikke beskrives her.

Det ses, at for de i trækonstruktioner og træplader mest anvendte lime ligger "ASF" for råmaterialerne mellem 1900 og 2500 kWh/ton.

Polymerisationen er i sig selv en varme-afgivende proces, men kræver også energi til styring af processen.

Under hensyntagen til polymerisations-energiforbruget ved plastfremstillingen (2600-13500 kWh/ton) skønnes selve fabrikationen af limen at kræve et energiforbrug af størrelsesordenen 2000-2500 kWh/ton.

Til brug ved senere beregninger tillægges konstruktionstrælim her et ASF på 4500 kWh/ton.

ASF	MSF	FSF
4500	2250	450

Tabel 3.11.3.1:
Akkumuleret energiforbrug til produktion af trækonstruktionslime (kWh/ton).

3.11.4 Gipsplader

Mineralet gips er i sin naturtilstand krystalinsk. Det har i sin ligevægtstilstand bundet 2 vandmolekyler til hvert gips-molekyle - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - calciumsulfat plus to vand.

Ved fremstillingen af støbegips er det nødvendigt at uddrive ca. 75% af det bundne vand, så man opnår et ustabilt gips - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ - som ved tilsætning af vand krystalliserer, størkner til det oprindelige naturprodukt.

Denne første proces - uddrivningen af vand - kaldes en calcinering og er en varmekrævende proces. Calcineret gips kan optræde som biprodukt i flere kemiske produktioner og også i brændingen af kalk, men ikke i ret stor målestok.

Til den danske gipsproduktion importeres der derfor gipsmineral, som et naturprodukt fra Frankrig/Spanien.

Anvendelsen af gips i byggematerialerne sker hovedsageligt til gipsplader, men gips benyttes f.eks. også som tilsætningsmiddel til cement.

Ved calcineringen uddrives 16 vægt % vand af mineralet, som ved krystalliseringsprocessen igen skal tilføres. Af udstøbningensmæssige grunde må man imidlertid tilføre mere vand, så man opnår den rette konsistens af gipsmassen.

Vandoverskuddet skal derefter fjernes, enten ved at emnet, som er udstøbt, får lov til at udtørre i fri luft eller ved at varmebehandle udstøbningen.

I fremstillingen af gipsplader anvendes der således hovedsageligt energi til calcineringen og til en varmebehandling af det udstøbte materiale.

Dertil kommer forbruget til støbemaskiner, opskæring, presser, transport o.s.v.

For en aktuel produktion i Danmark er energiforbruget vist i figur 3.11.4.1.

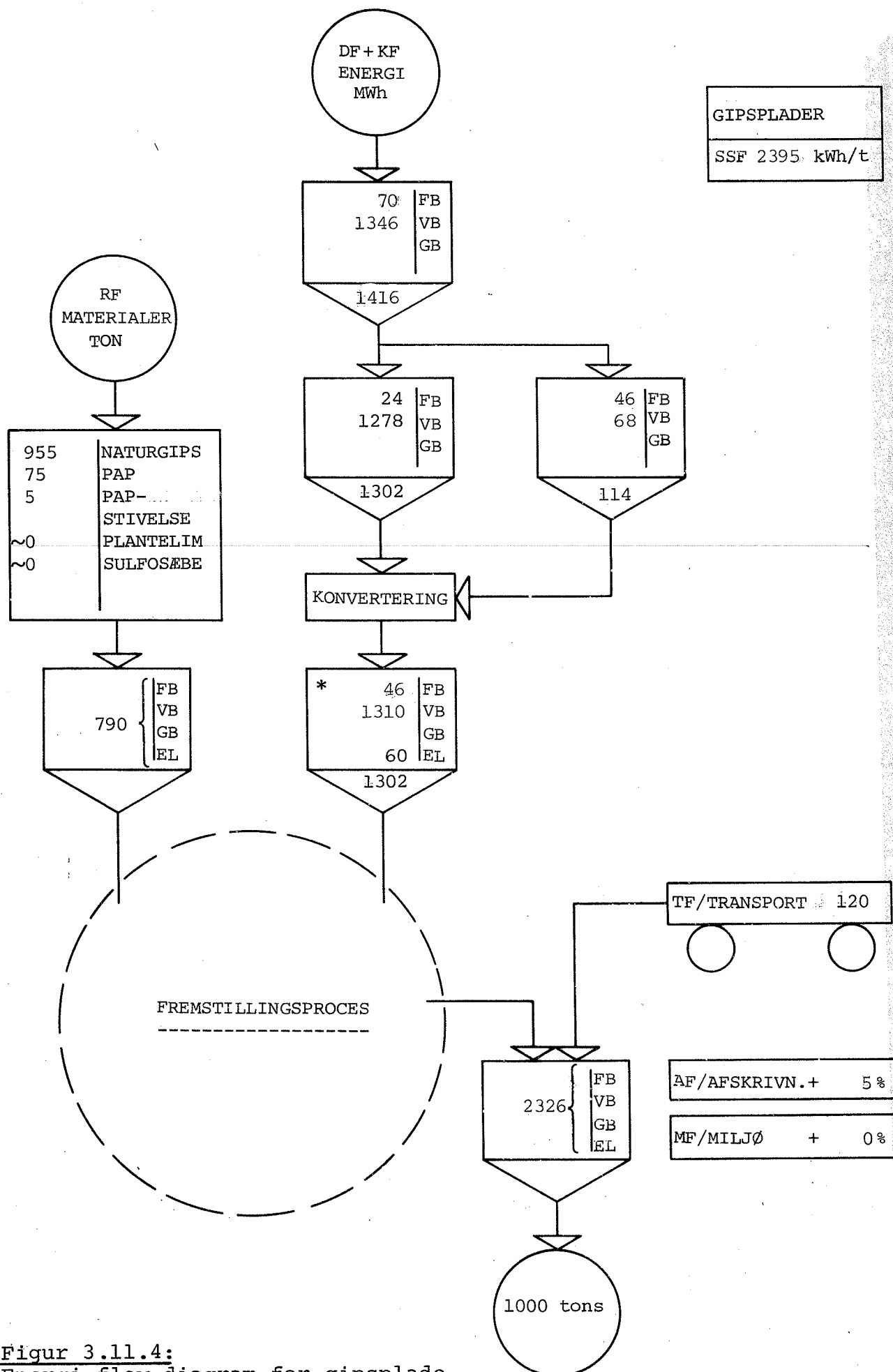
Den teoretisk minimale energianvendelse ved calcineringen er 27.8 kWh/ton ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Denne energimængde frigives igen ved krystalliseringen.

I de aktuelle calcineringsprocesser anvendes der endvidere energi til opvarmning af materialerne og fordampning af vandet:

	ASF	MSF	FSF
Opvarmning af CaSO_4 (130°C)	32	32	0
Opvarmning af $2\text{H}_2\text{O}$ (130°C)	24	24	0
Fordampning af $1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	115	115	0
Dehydrering (ved 25°C)	28	28	28
Tab i processen	63	0	0
Fordampning af 4% frit vand	28	28	0
	290	227	28

Tabel 3.11.4.1:
Calcineringens forbrug af varme (kWh/ton gips).



Figur 3.11.4:
Energi-flow-diagram for gipsplade-
produktion. Kilde: [spørgeskema].

Da der anvendes et vand/gips forhold under udstøbningen på ca. 60%, og der kun må restere 20%, skal der i tørreovnene fjernes 400 l frit vand pr. ton gips, svarende til en fordampningsvarme på 280 kWh og en opvarmning af materialerne af størrelsesordenen 20-50 kWh.

	ASF	MSF	FSF
Calcinering	>290	227	28
Udtørring	600	320	0
[efter spørgeskema]:			
Råmaterialer: gips	415	207	40
pap	375	180	35
majsstivelse	(0)	(0)	(0)
Fabrikation af gipsplader	1415*	586	26
Afskrivning	70	28	-
Transport	120	60	12
Ialt	2395	1061	113
Afrundet	2400	1060	115

*) Hentet fra figur 3.11.4.1.

Tabel 3.11.4.2:

Del-energiforbrug og det akkumulerede energiforbrug ved produktion af gipsplader.

Disse tal er ikke angivet særligt nøjagtigt og må tillægges en større usikkerhed end normalt $\pm 10\%$, således at ASF kan svinge mellem 2200 og 2600 kWh/ton for denne virksomheds produktion. Dette gælder ligeledes tallene i figur 3.11.4.1.

3.11.5 Imprægneringsvæsker

Imprægneringsvæsker kan være

- tjæreolier : creosotolie
- træolier : linoleum
- salte : kobbersulfat, kramsalte, opløst i vand

Tjæreolier raffineres af stenkul og er tyndtflydende væsker med brunlige farver.

Energiforbruget til fremstilling af disse olier er svære at bestemme, idet raffineringen har mange forskellige raffinering-produkter som resultat, og energiforbruget kan fordeles på de enkelte slutprodukter på flere måder.

[75.2] angiver ved produktion af kulprodukter et forbrug på 7.5⁰⁰/₀₀ af brændværdien ~55 kWh/ton. Kul og kulprodukter importeres fra mellemeuropa.

Træolierne udvindes af træmassen og kan i visse tilfælde være et biprodukt fra en anden træproduktion. Træolier kan også erstattes af andre planteolier. Plante- og træolier anvendes kun til overfladebehandling af træ. [77.0] angiver for træolier et energiforbrug på 3200 kWh/ton.

Kobber- og kromsalte og kombinationer heraf anvendes i de vandopløste imprægneringsmidler. Der anvendes en koncentration mellem 2.5% og 8% tørstof i væsken.

Kobber- og kromsalte kan efter [77.0] ækvivaleres med et energiforbrug på størrelse med ASF for Cu, d.v.s. 18000 kWh/ton, hvilket betyder ~450-1450 kWh/ton væske.

	ASF	MSF	FSF
Tjæreolier	200	100	20
Træolier	3200	1600	320
Salte (tørstof)	18000	9000	1800

Tabel 3.11.5.1:

Akkumuleret energiforbrug til produktion af imprægneringsvæsker (kWh/ton).

Hvad angår maling, så findes der så uendelig mange blandinger, dels opløst i råolie-raffinater, plante- og træolier og dels cellulosefortynder.

Ud fra angivelser i [77.0] over grundstoffernes energiforbrug og fyldstof- og væskeandele i malingstyperne er der i tabel 3.11.5.2 angivet ca.-værdier for energiforbruget til fremstilling af forskellige typer maling.

Malingstype	Råstoffer	Produktion	Ialt
Plastmalinger	5400	1300	6700
Oliemalinger	3200	1300	4500
Fernisser	3200	0	3200
Cellulose-maling	3000	0	3000
Farvepigmenter			
Klorbaseret TiO_2	-	-	18500
Sulfatbaseret TiO_2	-	-	18750
ZuO	-	-	12250

Tabel 3.11.5.2:

Energiforbrug til fremstilling af malings-typer (ca.-værdier i kWh/ton).

3.11.6 Opsamling

Til sidst vil der blive gengivet nogle energiforbrug til fremstilling af kemiske produkter fra [77.0], gældende for den amerikanske industri i 1972.

Disse værdier kan ikke sammenlignes med de tidligere angivne ASF-værdier for andre materialer, men må alene sammenlignes med det direkte forbrug på fabrikken.

Klor, el, gas	5800
Klor, el, væske	6650
Natriumhydrat NaOH	10800
Soda, Na_2CO_3 , syntetisk	4200
Soda, Na_2CO_3 , naturlig	1600
Fosfor, P	15400
Calciumfosfat, $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	1950
Natriumsilicat, $(\text{Na}_2\text{O})_n(\text{SiO}_2)$	4300

Tabel 3.11.6.1:

Energiforbrug ved fremstilling af alkaliske produkter [77.0] (kWh/ton).

	luft rumvægt kg/m ³	kWh/ton flydende	kWh/m ³ luft (20°C)
Ilt, O ₂	1.33	940	640
Kvælstof, N ₂	1.17	870	350
Argon, Ar	1.66	870	810
Brint, H ₂	0.083	29400	2310
Acetylen, C ₂ H ₂	1.09		37300
Kultveilte, CO ₂	1.84		85

Tabel 3.11.6.2:

Energiforbrug ved fremstilling af luftarter [77.0].

Fibermateriale		Råprodukt
Polyesterfibre	13000	Dimethyl Terephthalate
Nylonfibre	16600	Caprolactum
Acrylfibre	30600	Acrylonitrile m.m.
Polyolefinfibre	15950	Acrylonitrile m.m.
Acetatfibre	40900	Cellulose
Rayonfibre	32700	Cellulose

*) Inklusive fremstilling af råprodukt.

Tabel 3.11.6.3:

Energiforbrug ved fremstilling af plastfibre* (kWh/ton) [77.0].

Gasart		Råprodukt
Ethylene	8100	Naturgas
Acetone	3750	Phenol
Ethanol	4260	
Formaldehyd	2600-4000	Methanol
Methanol	1590	

*) Inklusive fremstilling af råprodukt.

Tabel 3.11.6.4:

Energiforbrug ved fremstilling af kemiske gasser* (kWh/ton) [77.0].

3.11.7 Litteraturliste

- [64.0] W.A. Chugg:
"GLULAM. THE MANUFACTURE OF GLUED
LAMINATED STRUCTURES"
England 1964

- [74.0] P. Bourrelrier, R. Hamalin:
"MARERIAUX ET ENERGIE"
Annales des Mines,
Frankrig, maj-juni 1974

- [75.0] P.F. Chapman:
"THE ENERGY COST OF MATERIALS"
Energy Policy,
England, marts 1975

- [75.1] "ENERGY REQUIREMENTS FOR ROADWAY
PAVEMENTS"
The Asphalt Institute, MISC-75-3
U.S.A. april 1975

- [75.2] "THE DATA BASE. THE POTENTIAL FOR
ENERGY CONSERVATION IN 9 SELECTED
INDUSTRIES"
Vol. I + III
Office of Industrial Programs
U.S.A. 1975

- [75.3] R.S. Berry m.fl.:
"AN INTERNATIONAL COMPARISON OF
POLYMERES AND THEIR ALTERNATIVES"
Energy Policy,
England, juni 1975

- [76.0] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976

- [77.0] "PRACTICAL TECHNIQUES FOR SAVING
ENERGY IN THE CHEMICAL, PETROLEUM
AND METALS INDUSTRIES"
Chemical Technology Review No. 90
U.S.A. 1977

3.12 SPØRGESKEMA M.M.

I de forangående afsnit er der ofte refereret til spørgeskemaer. Som tidligere nævnt har det været nødvendigt at skaffe oplysninger om energiforbruget ved fremstilling af materialer, som ikke tilstrækkeligt kunne dækkes gennem litteraturen.

Det har næsten udelukkende været materialer fremstillet i Danmark og af danske ressourcer.

Der er i alt udsendt 26 spørgeskemaer til danske og udenlandske virksomheder og institutioner.

Heraf blev de 11 besvaret, og der blev yderligere skaffet oplysninger ved personlig henvendelse fra 5 andre virksomheder.

Generelt var de modtagne besvarelser yderst tilfredsstillende udfyldt og dannede således et godt grundlag for en videre bearbejdning.

Som det kan ses af de ovennævnte tal, var der i mange tilfælde en stærk uvilje mod at besvare slige spørgsmål, som spørgeskemaet stillede.

Denne erfaring har Søren Klokhøj [76.0] også gjort i sine undersøgelser, selv om disse var beregnet til hjælp i de enkelte virksomheder og især for brancherne.

En hindring ligger klart i, at der ofte er forbundet "produktionshemmeligheder" med de søgte tal, og at producenten derfor bliver skræmt ved første øjekast.

En anden grund er, at der kan være forbundet nogen efterforskningsarbejde med besvarelsen af skemaet. Det har derfor også fortrinsvist været små firmaer, der har reageret negativt.

De udsendte spørgeskemaer er vist på de følgende sider.

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING
DEN POLYTEKNIKE LÆREANSTALT
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE
BYGNING 118 2800 LYNGBY TLF. (01) 88 35 11

DATO 1977-09-22
1810/SA/HH

Som ansat på Instituttet for Husbygning, Danmarks tekniske Højskole, er jeg startet på et licentiatstudium.

Det vil strække sig over ca. 2½ år og skal bl.a. omhandle energi- og råstofforbruget ved fremstilling af byggematerialer og skulle ende med en udvikling af byggelementer på grundlag af disse undersøgelser.

Som led heri ville det glæde mig at få oplyst følgende:

- hvor meget energi anvendes der til fremstilling af Deres produkter?
- hvilke råstoffer anvender De, i hvilke mængder på årsbasis?
- er råstofferne importerede, udvinder De dem selv?
- over hvor store afstande transporterer De Deres varer, med hvilket transportmiddel, og i hvilke mængder?
- har De i Deres produktion gjort foranstaltninger for at nedsætte energiforbruget, i så fald hvorledes?

Svarene på disse spørgsmål ville hjælpe mig vældigt i de forestående efterforskninger.

Hvis De ønsker oplysninger vedrørende denne henvendelse eller i øvrigt, så er jeg til disposition på denne adresse:

Stud.lic. Sigurd Andersen
Instituttet for Husbygning
Danmarks tekniske Højskole
2800 Lyngby

Tlf.: (02) 88 35 11, lokal 5301

Med venlig hilsen

Sigurd Andersen



INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Produktionsmængde pr. år:
Kg (M^3):

--

Anvendt energimængde til:

Komfort*

Totalt

Olie (L)

El (kWh)

Kul (T)

Gas (M^3)

Andet

Anvendt råstofmængde:

Dansk

Importeret

Kg (M^3)

Råvarer

Færdige
produkter

Transport:Skib:

Max. afstand		
Mængde pr.last		
Mængde pr.last		

Transport>Lastbil:Max. afstand

Max. afstand		
Mængde pr.last		
Mængde pr.last		

*) Ved komfort forstås her den energi (olie, gas, el), der bruges til opvarmning, ventilation og belysning i administrationsbygninger. Angiv eventuelt bedste skøn.

Ønsker De ikke at angive de årlige mængder for Deres produktion, kan De angive alle tal specifikt, f.eks. pr. 100.000 produktenhed.

PRODUKTION FORDELT PÅ PRODUKTTYPER PR. ÅR

	Murstensækvivalenter	kg (M ³)
Almindelige sten		
Mangehulsten		
Ildfaste sten		
Tagsten		
Rør		
Teglelementer		
Kalksandsten		

Angiv enten i murstensækvivalenter eller kg (M³) eller
begge dele.

3.13 BESPARELSER

Som det er nævnt tidligere, er der givet fingerpeg om mulige energibesparelser ved fremstilling af materialerne gennem størrelserne MSF og FSF.

Generelt er besparelsesmulighederne med den nuværende teknologi mindre end 50%, og vil med radikale indgreb og med bibeholdt teknologi kunne udtrykkes ved forskellen mellem ASF- og MSF-værdierne.

Dette svarer til 30-60% af det nuværende energiforbrug for materialerne og i gennemsnit omkring de 50%.

Hvor radikale bestræbelserne vil være i fremtiden, afhænger naturligvis først og fremmest af omkostningerne ved energibesparelsesforanstaltningerne i industrien og energiprisniveauets udvikling.

For at opnå væsentlige energibesparelser kan det derfor i mange tilfælde være nødvendigt at ændre produktionsteknikken.

Det har i denne analyse ikke været hensigten at finde forslag til energibesparende produktionsteknik, men da litteraturstudiet undervejs også har omfattet emner af denne art, skal der i korthed gøres opmærksom på nogle muligheder - hovedsagelig i form af kildehenvisninger.

Betonelementer

I 1978 offentliggjorde Larsen & Nielsen og Pedershåb Maskinfabrik en nyudviklet vibreringsmetode, hvor vibreringen af vandret støbte betonelementer blev gjort så effektiv, at der for samme betontrykstyrke i elementerne ville kunne spares op til 30% cement i forhold til normale elementer.

Det har ikke været muligt at bestemme mere energiforbruget ved vibreringsmetoden, men da betonelementernes energiforbrug domineres kraftigt af cementindholdet, må man forvente en betydelig total-besparelse.

Kildehenvisning [79.0].



Betonvarer

Som det bl.a. kan ses af tabel 3.6.1.5, er hydratationsvarmen af beton ikke u-væsentlig.

I betonvarer, hvor cementindholdet kan være betydeligt, kan den således være op til 20 kWh/ton beton.

Denne varmemængde kan bruges som tilskud til en damphærdning, eller måske erstatte den.

Det beregnede varmeforbrug ved damphærdning er ifølge afsnit 3.9.0 ca. 50 kWh/ton, hvoraf de 28 kWh/ton er tab.

Ved en effektiv isolering af varmhærdningskammeret og en forlænget hærdetid, vil man således kunne undgå damptilførsel.

Kildehenvisning [79.1].

□

Glas

Der skal her blot henvises til afsnit 3.8.1, side, hvor float-metoden kort er beskrevet.

Kildehenvisning [75.0].

□

Trætørring

I afsnittet om trætørring, side, er der kort fortalt om de mulige fordele ved kondensationstørringen.

Metoden har allerede vundet indpas i forbindelse med udtørring af råhuse, men har endnu ikke vist sig at være fordelagtigere end normal trætørremetoder.

Kan man tolerere længere tørringstider end normalt - måske 3-5 gange så lange, kan kondensationstørringens fordele bedre udnyttes og væsentlige energibesparelser vil formodentlig kunne opnås.

Kildehenvisning [79.1].

□

Cement

Med diverse modificeringer af den nuværende teknologi kan der opnås energibesparelser ved cementbrændingen af størrelsesordenen 25-30%.

Varmetabet i forbindelse med brændingen er imidlertid af størrelsesordenen 40-50%, svarende til 1400 GWh/år. Med en 60% udnyttelse af denne varme kan 40-45000 parcelhuse opvarmes. (BR-77 standard, 130 m²).

Idet cementproduktionen i Danmark er ret koncentreret, må der være store muligheder for at indfange dette varmetab og bruge det til boligopvarmning.

Kildehenvisning [77.0].



Stål

Samme betragtninger som ovenfor er relevante for stålproduktionen i Danmark.

Varmetabet fra DDS i Frederiksværk er af størrelsesordenen 500 GWh pr. år. Kan bare 60% heraf udnyttes til boligopvarmning kan 12.000 parcelhuse - (BR-standard, 130 m²) - forsynes med varme.



Til slut skal det påpeges, at de angivne værdier for FSF giver størrelsesordenen af det absolut minimalt opnåelige energiforbrug; i de fleste tilfælde 10-20% af det aktuelle energiforbrug.

3.13.1 Litteraturliste

- [75.0] Bo Adamson og Harry E. Backman:
"GLAS I HUS"
Esselte studium, Sverige 1975
- [76.0] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS
ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976
- [77.0] "PROCEEDINGS OF THE FEA-PCA SEMINAR
ON ENERGY MANAGEMENT IN THE CEMENT
INDUSTRY"
Conservation Paper No. 47
U.S. Government Printing Office
U.S.A. 1977
- [79.0] "DANISH PRECAST PROCESS USES LESS
CEMENT"
Concrete Products,
U.S.A., februar 1979.
- [79.1] "NEW BLOCK PLANT IS DESIGNED TO
SAVE FUEL AND MONEY"
Precast Concrete, Vol. 10, No. 7
England 1979
- [79.2] Gösta Andersson:
"BYGGTORKENS UTVECKLING: FRÅN
KOKSGRYTA TIL AVFUKTARE"
Byggmästaren 9-1979
Sverige 1979

3.14 VÆRDIER FOR MATERIALERNES AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG

De i det følgende angivne energiforbrug er gældende for materialet leveret på byggepladsen, med de i afsnit 3.1 nævnte forudsætninger.

I det akkumulerede energiforbrug er der ikke inkluderet energiforbrug i forbindelse med "montage" af materialet i konstruktioner eller bygningsdele.

For de i afsnit 3.2.2 nævnte materialer er værdierne givet i tabel 3.14.1, idet der foruden værdierne for ASF, MSF og FSF er opført værdier for GER, korrigeret ud fra ASF (se side 30).

Med benævnelserne

- c, betonens cementindhold, kg/m^3
- ρ , materialets rumvægt, kg/m^3
- ϕ , betonens armeringsprocent, %
- a, andel af tilslaget som udgøres af letkorns-(ex-ler) perler, vægtprocent

gælder for de sammensatte materialer:

f2 - 13 - Betonelementer, standard

KWh/ton	ASF	MSF	FSF
Vægelementer	520	248	80
Huldækelementer	605	285	92
Sandwichelementer	565*	266*	86*

*) Isolering ikke medregnet, se nedenfor.

Tillæg for isolering i sandwichelementer, kWh/ton

tykkelse	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm	15 cm	20 cm
ASF	41	61	81	101	122	162
MSF	17	26	35	44	52	70
FSF	5	7	9	11	13	18

forudsat: Rockwool, $\rho = 75 \text{ kg/m}^3$
15 cm væg + 6 cm forstøbning.

Damphædede betonelementer, generelt, kWh/ton

$$\text{ASF} = 0,99 \cdot c + 280 \cdot \phi + 175$$

$$\text{MSF} = 0,59 \cdot c + 124 \cdot \phi + 53$$

$$\text{FSF} = 0,21 \cdot c + 39 \cdot \phi + 10$$

f7 - 18 - Ikke-damphærdede betonelementer, generelt; kWh/ton

$$\text{ASF} = 0,99 \cdot c + 280 \cdot \varphi + 117$$

$$\text{MSF} = 0,59 \cdot c + 124 \cdot \varphi + 29$$

$$\text{FSF} = 0,21 \cdot c + 39 \cdot \varphi + 2$$

f3 - 14 - Porebetonelementer, kWh/ton

$$\text{ASF} = 1250 + 655 \cdot \varphi/\rho$$

$$\text{MSF} = 560 + 290 \cdot \varphi/\rho$$

$$\text{FSF} = 135 + 99 \cdot \varphi/\rho$$

desuden

Jernbeton in situ, kWh/ton

$$\text{ASF} = 0,99 \cdot c + 280 \cdot \varphi + 15$$

$$\text{MSF} = 0,59 \cdot c + 124 \cdot \varphi + 8$$

$$\text{FSF} = 0,21 \cdot c + 39 \cdot \varphi + 2$$

med naturligt tilslag, mens der for jernbeton med groft tilslag som knust klippe-materiale gælder (sand:sten = 1:2):

$$\text{ASF} = 0,99 \cdot c + 280 \cdot \varphi + 85$$

$$\text{MSF} = 0,59 \cdot c + 124 \cdot \varphi + 42$$

$$\text{FSF} = 0,21 \cdot c + 39 \cdot \varphi + 17$$

q4 - 95 - Mørtel, kWh/ton

	ASF	MSF	FSF
K 100	195	120	50
M 100/900	130	80	25
KC 50/50	275	160	65
KC 35/65	310	180	60
M 100/600	170	105	30
C 100	445	265	95
KC 20/80	355	210	80
M 100/400	235	145	45

q5 - 95 - Beton, in situ, kWh/m³

$$\text{ASF} = 2,32 \cdot c + 34,5$$

$$\text{MSF} = 1,39 \cdot c + 18,4$$

$$\text{FSF} = 0,51 \cdot c + 4,6$$

q6 - 97 - Færdigblandet beton, kWh/m³

$$\text{ASF} = 2,32 \cdot c + 97,5$$

$$\text{MSF} = 1,39 \cdot c + 52,4$$

$$\text{FSF} = 0,51 \cdot c + 10,6$$

med naturligt tilslag, mens der for beton med groft tilslag - som knust klippemateriale - gælder (sand:sten = 1:2)

$$\text{ASF} = 2,23 \cdot c + 259$$

$$\text{MSF} = 1,41 \cdot c + 131$$

$$\text{FSF} = 0,49 \cdot c + 45$$

q7 - 98 - Letkornbeton, in situ, kWh/m³

$$\text{ASF} = (2,34 - 1,55 a) \cdot c + 1,22 \cdot \rho \cdot a$$

$$\text{MSF} = (1,40 - 1,07 a) \cdot c + 0,84 \cdot \rho \cdot a$$

$$\text{FSF} = (0,51 - 0,31 a) \cdot c + 0,25 \cdot \rho \cdot a$$

med ex-ler tilslag.

q8 - 99 - Gipsmørtel, kWh/ton

	ASF	MSF	FSF
G 100/100	400	245	14
G 100/200	280	170	10
G 100/400	180	110	7

Tabel 3.14.1:

Det akkumulerede energiforbrug for de behandlede materialer, kWh/ton
(GER i MJ/kg)

		ASF	MSF	FSF	GER
e	NATURSTEN				
e0	1 Alment	200	100	20	0.86
e1	2 Granit og andre erupt.	200	100	20	0.86
e2	3 Marmor	200	100	20	0.86
e3	4 Andre kalksten	200	100	20	0.86
e4	5 Sandsten	200	100	20	0.86
e5	6 Skifer	200	100	20	0.86
e6	7 -----	-	-	-	-
e7	8 -----	-	-	-	-
e8	9 -----	-	-	-	-
e9	10				
f	AFBUNDET BETON OG MØRTEL				
f0	11 Alment	1200	600	200	5.18
f1	12 Kalksandsten	485	200	85	2.09
f2	13 Betonelementer	-	-	-	-
f3	14 Porebetonelementer	-	-	-	-
f4	15 Porebetonblokke	1250	560	135	5.17
f5	16 Letkornsbetonblokke	1020	630	200	4.23
f6	17 Asbestbeton	2400	1290	435	9.94
f7	18 Jernbeton	-	-	-	-
f8	19 Letkornsbetonelementer	1380	895	225	5.71
f9	20 Øvrigt	-	-	-	-
g	LER OG KERAMISK MATERIALE				
g0	21 Alment	1300	700	130	5.62
g1	22 Ubrændt ler	6	3	1	0.03
g2	23 Gule teglsten	1275	650	150	3.82
g3	24 Røde teglsten	1175	600	150	5.08
g4	25 Ildfaste teglsten	1400	750	175	6.05
g5	26 Tagsten af tegl	1400	720	150	6.05
g6	27 Glaseret tegl	2000	1000	200	8.64
g7	28 Teglrør	1150	620	125	4.97
g8	29 Glaserede fliser	8000	4000	800	34.60
g9	30 Øvrige lermaterialer	-	-	-	-
h	METALLER				
h0	31 Alment	10000	4000	1400	41.4
h1	32 Valset stål	8370	3700	1250	34.6
h2	33 Støbejern	9700	4150	1420	40.2
h3	34 Svejset stål	9350	3900	1350	38.7
h4	35 Forzinket stål	8970	4100	1400	37.1
h5	36 Kobber	19500	6700	1400	80.7
h6	37 Aluminium	65300	22000	4700	270.3
h7	38 Zink	12000	6500	1500	49.7
h8	39 Bly	7000	4000	1000	29.0
h9	40 Øvrige metaller	-	-	-	-

NB	i*	TRÆ - STÆNGER	ASF	MSF	FSF	GER
	i0	41 Alment	1100	450	70	4.75
	i1	42 Tømmer	720	350	50	2.70
	i2	43 Firhøvlet tømmer	1120	500	70	4.21
	i3	44 Brædder, lægter	765	360	50	2.87
	i4	45 Høvlede brædder	1295	520	75	4.86
	i5	46 Profilerede stænger	1395	550	90	7.33
	i6	47 Imprægneret tømmer	795	385	55	2.99
	i7	48 Imprægneret firhøvlet træ	1490	590	75	5.60
	i8	49 Lamineret træ	1420	650	130	5.33
	i9	50 Parketstave, løvtræ	1940	750	115	7.29
	j	BYGNINGSPLADER AF TRÆ OG GIPS				
	j0	51 Alment	4000	1800	250	15.0
	j1	52 Træfiberplader	4090	2515	180	15.4
	j2	53 Pap og papir	6500	3000	500	24.4
	j3	54 Finérplader	4160	2375	335	15.6
	j4	55 Træspånplader	1890	1250	220	7.10
	j5	56 Træbetonplader	2000	1200	200	7.51
	j6	57 Gipsplader	2400	1060	115	9.02
	j7	58 Imprægnerede finérplader	4325	2460	380	16.2
	j8	59 Imprægnerede træfiberplader	4340	2635	210	16.3
	j9	60 Øvrige bygningsplader	-	-	-	-
	m	GLAS- OG MINERALFIBERMATERIALER				
	m0	61 Alment	6000	2400	700	22.5
	m1	62 Mineraluld	5335	2300	650	20.0
	m2	63 Asbestuld og -fibre	875	440	100	3.29
	m3	64 Planglas	5170	2260	600	19.4
	m4	65 Skumglas	5200	2300	600	19.5
	m5	66 Armeret glas	5350	2315	620	20.1
	m6	67 Termoruder, 2 lag glas	7025	2800	940	26.4
	m7	68 Termoruder, 3 lag glas	7100	2850	1000	26.7
	m8	69 Støbt glas	5200	2300	600	19.5
	m9	70 Hærdet glas	5750	2500	600	21.6
	n	ASFALT, GUMMI OG PLAST				
	n0	71 Alment	20000	8000	1000	123.9
	n1	72 Asfalt	2800	1400	300	60.2
	n2	73 Asfaltpap	2800	1400	300	41.6
	n3	74 Syntetisk gummi	18000	9000	1800	125.8
	n4	75 Polypropylen	22150	5800	1000	151.8
	n5	76 Polyvinylchlorid	24650	17500	2000	128.0
	n6	77 Polyethylen	16400	8900	1000	126.2
	n7	78 Polystyren	29650	6650	1000	177.5
	n8	79 Polyurethan	19000	9000	1500	114.6
	n9	80 Øvrige	-	-	-	-

*) kWh/m³ h.h.v. GJ/m³.

p	FYLDSTOF	ASF	MSF	FSF	GER
p0	81 Alment	100	50	20	0.43
p1	82 Almindelige naturmaterialer	15	8	2	0.06
p2	83 Sømateriale	20	10	4	0.14
p3	84 Knust naturmateriale	32	16	6	0.09
p4	85 Knust bjergmateriale	120	60	24	0.53
p5	86 Exler-granulat	1230	855	250	5.32
p6	87 Molergranulat	(1500)	(1000)	(300)	(6.48)
p7	88 Flyveaske	(25)	(12)	(3)	(0.11)
p8	89 Slaggemateriale	(25)	(12)	(3)	(0.11)
p9	90 Øvrigt fyldstof	-	-	-	-
q	UAFBUNDET BETON OG -KALK				
q0	91 Alment	2400	1350	700	9.02
q1	92 Kalk	2450	1385	900	9.20
q2	93 Cement	2340	1400	510	9.69
q3	94 Blandede hydr. bindemidler	2400	1400	700	9.94
q4	95 Mørtel	-	-	-	-
q5	96 Beton, færdigblandet	-	-	-	-
q6	97 Porebeton	-	-	-	-
q7	98 Letkornsbeton	-	-	-	-
q8	99 Gipsmørtel	-	-	-	-
q9	100 Øvrigt mørtelmateriale	-	-	-	-
t	FASTGØRELSES- OG FUGEMIDLER				
t0	101 Alment	6000	3000	1000	(26.0)
t1	102 Svejsemidler	12000	6000	1200	(51.8)
t2	103 Kit	1160	580	115	18.8
t3	104 Fugemasser	17300	8600	175	(94.0)
t4	105 Kunstharpikslime	4500	2250	450	(28.9)
t5	106 Epoxylime	(5000)	(2500)	(500)	(30.2)
t6	107 Bolte og beslag	11000	5000	1500	47.0
t7	108 Skruer og søm	11000	5000	1500	47.0
t8	109 -----	-	-	-	-
t9	110 Øvrigt	-	-	-	-
u	BESKYTTELSES- OG VEDLIGEHOLDELSESMIDLER				
u0	111 Alment	7000	3500	700	-
u1	112 Korrosionsbeskyttende midler	(8000)	(4000)	(800)	-
u2	113 Tilsætningsmidler	(2000)	(1000)	(200)	-
u3	114 Råd- og svampebeskyt. midler	3500	1600	320	60.1
u4	115 Brandhæmmende midler	(6000)	(3000)	(600)	-
u5	116 Oliemaling	4500	2250	450	-
u6	117 Plastmaling	6700	3400	670	(48.8)
u7	118 Siliconemaling	(8000)	(4000)	(800)	-
u8	119 Cellulosemaling	3000	1500	300	(31.2)
u9	120 Øvrigt	-	-	-	-