

Sverre Fossdal

Energi- og miljøregnskap for bygg

Fremstilling av byggematerialer
Regnskap for boliger og kontorbygg

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Sverre Fossdal

Energi- og miljøregnskap for bygg

Fremstilling av byggematerialer

Regnskap for boliger og kontorbygg

Prosjektrapport 173 – 1995

Prosjektrapport 000

Sverre Fossdal

Energi- og miljøregnskap for bygg

Fremstilling av byggematerialer

Regnskap for boliger og kontorbygg

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0481-5

200 eks. trykt av

Lobo Grafisk A/S

Cyclus resirkulert papir

omslag 200 g, innmat 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1995

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 00

Fax: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

Emneord

BA-virksomhet
– energiforbruk
– miljøutslipp

Byggematerialer
– energiforbruk
– miljøutslipp

Bygninger
– energiregnskap
– livsløpsvurdering
– miljøbelastning
– miljøregnskap
– vugge-til-gravanalyser

FORORD

Gjennomføringen av et slikt prosjekt som dette, hvor mange bidragsytere har deltatt og hvor en har tråkket i upløyd mark, krever en modningsprosess før ting faller på plass. Det hele startet sommeren 1991 med at Norcem a.s. ønsket å gjøre opp en status for de samlede energi- og miljøeffektene som knyttet seg til produksjon av sement/betong. Dette ble fulgt opp av et forprosjekt høsten/vinteren 91/92 med støtte fra norske industribedrifter, statlige organisasjoner og NTNF (Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Forskningsråd) for å kartlegge hva som er gjort og hva som var på gang innenfor området miljø- og energiregnskap for bygg i Norge og Norden.

I løpet av de 2,5 årene prosjektet har pågått, er det fra de deltakende bedriftene lagt ned et betydelig arbeid i form av å fremskaffe data fra deres respektive prosesser og beskrive sin egen produksjon. Den positive holdningen norsk industri har vist ved å delta så aktivt i prosjektet, har imponert mange. Grunntanken har vært at forståelse og kunnskaper om hvordan produksjon og produkter påvirker omgivelsene, vil kunne danne grunnlag for forbedringer, gi beredskap overfor krav fra marked og myndigheter og totalt sett sikre forutsetninger for videre forretningsmessig utvikling av virksomhetene.

Prosjektlederen vil takke de 14 deltakende byggevareprodusenter som har støttet prosjektet både økonomisk og med sine faglige kunnskaper og gjort det mulig å fremskaffe tilstrekkelig med data for byggematerialer slik at energi- og miljøregnskap for bygninger lot seg gjennomføre. Disse bedriftene har vært: Norcem a.s., Moelven Treindustri Gruppen A/S, Norske Skog A/S, Hydro Aluminium Extrusion Group, Norsk Hydro a.s., a.s. Norsk Leca, Glava A/S, A/S Rockwool, Norsk Celluloseisolasjon A/S, Fundia Norsk Jernverk A/S, H-Produkter A/S, Protan A/S, Norgips A/S og Plastindustriforbundet. De representerer hovedtyngden av byggevareprodusenter i Norge og de produktene de tilvirker utgjør over 95 % av massene i et bygg.

Prosjektlederen vil også rette en takk til Stiftelsen Østfoldforskningen for faglig støtte ved livsløpsvurderinger av bygg.

Prosjektet har fått sin hovedfinansiering fra NTNF/NFR program Produktutvikling og forsøksbygging. I tillegg til de deltakende bedrifter har Statsbygg, Husbanken, Statens Bygningstekniske Etat og Forsvarets Bygningstjeneste vært med på å finansiere prosjektet. Prosjektet har vært fulgt av en arbeids-styringsgruppe med deltagere fra Norcem a.s., A/S Rockwool, Norsk Hydro a.s., Moelven Treindustri Gruppen A/S og Fundia Norsk Jernverk A/S. Styringsgruppen har vært en god støtte og er kommet med mange innspill.

Oslo, desember 1994
Sverre Fossdal
Prosjektleder

INNHold

FORORD	3
SAMMENDRAG	7
SUMMARY	12
1 INNLEDNING	16
1.2 LIVSLØPSVURDERINGER	16
2 PRODUKSJON AV BYGGEMATERIALER	27
2.1 FORMÅL	27
2.2 PRINSIPPER, METODER OG BEGRENSNINGER	28
2.3 KONVENSJONER PÅ ENERGIBEHOV - ENERGIFORBRUK	29
3 ENERGIFORBRUK OG UTSLIPP VED TRANSPORT	31
3.1 FOSSILE MATERIALER	31
3.2 VEITRANSPORT	32
3.3 SKIPSTRANSPORT	34
3.4 JERNBANE	35
3.4.1 DIESELDREVNE TOG	35
3.4.2 ELEKTRISK DREVNE TOG	36
3.5 OPPSUMMERING	37
4 MATERIALER SOM ER MED I DENNE UNDERSØKELSEN	38
4.1 SEMENT - BETONG	38
4.2 TRE	44
4.3 STÅL	49
4.4 ALUMINIUM	54
4.5 ISOLASJONSMATERIALER	59
4.5.1 GLASSULL	59
4.5.2 STEINULL	64
4.5.3 CELLULOSEFIBER	69
4.5.4 POLYURETAN	74
4.6 PVC	79
4.7 VINDUER - GLASS	84
4.8 TAKBELEGG	88
4.9 GIPSPLATER	92
4.10 SPONPLATER	97
4.11 LETTKLINKERBLOKKER	104
5 ANDRE MATERIALER	109
5.1 GULVBELEGG	109
5.2 SPARKEL	110

5.3	PAPP.....	110
5.4	ASFALT.....	111
5.5	TEGL.....	111
5.6	POLYSTYREN.....	111
5.7	MALING.....	112
5.8	PORSELEN.....	112
5.9	KOBBER.....	113
6	BYGNINGER.....	114
6.1	TIDSASPEKT - LEVETIDER.....	114
6.2	STOR ENEBOLIG I TRE.....	116
6.2.1	MASSEBEREGNING.....	117
6.2.2	ÅRLIG ENERGIFORBRUK.....	117
6.2.3	ENERGI- OG MILJØREGNSKAP.....	118
6.2.4	FØLSOMHET CUT-OFF.....	118
6.3	LITEN ENEBOLIG I TRE.....	121
6.3.1	MASSEBEREGNINGER.....	122
6.3.2	ÅRLIG ENERGIFORBRUK.....	122
6.3.3	ENERGI- OG MILJØREGNSKAP.....	123
6.3.4	FØLSOMHET CUT-OFF.....	123
6.4	LITEN ENEBOLIG I LETTKLINKER - BLOKKER.....	126
6.4.1	MASSEBEREGNINGER.....	127
6.4.2	ÅRLIG ENERGIFORBRUK.....	127
6.4.3	ENERGI- OG MILJØREGNSKAP.....	128
6.4.4	FØLSOMHET CUT-OFF.....	129
6.5	KONTORBYGG I STÅL.....	131
6.5.1	MASSEBEREGNINGER.....	133
6.5.2	ÅRLIG ENERGIFORBRUK.....	133
6.5.3	ENERGI- OG MILJØREGNSKAP.....	134
6.5.4	FØLSOMHET CUT-OFF.....	134
6.6	KONTORBYGG I BETONG.....	136
6.6.1	MASSEBEREGNINGER.....	138
6.6.2	ÅRLIG ENERGIFORBRUK.....	138
6.6.3	ENERGI- OG MILJØREGNSKAP.....	139
6.6.4	FØLSOMHET CUT-OFF.....	139
6.7	OPPSUMMERING.....	141
7	RIVING OG BORTKJØRING AV BYGGEMATERIALER.....	142
7.1	GENERELT.....	142
7.2	MILJØBELASTNING VED RIVING OG BORTKJØRING.....	144

8	DISKUSJON AV BEREGNINGSRISULTATENE.....	146
8.1	FØLSOMHETSANALYSER - CUT-OFF.....	146
8.2	KOMPLETTE ENERGI- OG MILJØREGNSKAPER.....	147
8.3	NORMALISERING AV ENERGI-FORBRUK OG UTSLIPP.....	148
8.4	OPPFØRTE BYGG I 1993.....	149
8.5	SAMMENLIKNING AV BYGG.....	151
8.5.1	FORBRUK AV FOSSILE RESSURSER.....	151
8.5.2	GLOBAL KLIMAENDRING PGA. CO ₂ - UTSLIPP.....	151
8.5.3	FORSURING PGA. SO ₂ OG NO _x - UTSLIPP.....	152
8.5.4	FOTOKJEMISK OKSIDASJON PGA. VOC - UTSLIPP.....	153
8.5.5	OVERGJØDSLING PGA. NO _x - UTSLIPP.....	154
8.6	KONKLUSJON.....	154
9	LITTERATUR.....	157

SAMMENDRAG

Dette er den første større samlede undersøkelsen av energiforbruk og utslipp fra tilvirkning av byggematerialer i Norge. Til sammen er det 14 norske leverandører som har vært med i prosjektet, og disse dekker følgende byggematerialer; sement/betong/mørtel, lettklinker, tre/limtreprodukter, aluminium, stål, sponplater/trefiberplater, gipsplater, glassull-, steinull-, cellulosefiber- og polyuretanisolasjon, vinduer, takbelegg og pvc. For alle leverandører som er med i prosjektet, og disse dekker 95 % av alle massene i et bygg, er det satt opp en beskrivelse av tilvirkningsprosessen, et flytskjema over alle materialer som inngår i fremstillingen av byggematerialet og et energi- og miljøregnskap fra råstoffuttak til ferdig oppført bygg. I en bygning inngår det over 30 forskjellige materialer og for de materialene som ikke er med i undersøkelsen, er det brukt data fra litteraturen eller gjort antakelser.

Livsløpsvurderinger av produkter er en systematisk kartlegging og vurdering av helse-, miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet.

Livssyklusene for et bygg består av a) bryting og raffinering av råmaterialer, b) fremstilling av råvarer, c) tilvirkning av delprodukter, d) sammenstilling og oppføring av bygg, e) driften av bygg og til slutt f) riving med bortkjøring av materialene til gjenbruk eller deponering. I alle disse fasene går det med energi i en eller annen form, og aktivitetene medfører utslipp til luft, vann og jord. Livsløpsprosessen går over mange år og er forbundet med en rekke usikkerheter for hva som vil skje under driften og ved riving av byggene. En har valgt å bruke 50 år som levetid på byggene selv om den virkelige levetiden kan være betydelig lengre. Begrunnelsen for valget er at kravene til bygninger forandres mye raskere i dag enn tidligere, og ved miljømerking og i standardiseringssammenheng av isolasjonsmaterialer er 50 år satt som minimums driftstid for boliger.

En livsløpsvurdering er delt i fire trinn; 1) målformulering, 2) kartlegging, 3) vurdering og 4) forbedring. For trinn 1 målformulering, har formålet vært å øke kunnskapene om produktsystem "bygning", sammenlikne miljø- og ressursmessige påvirkninger mellom bygg og å legge grunnlaget for forbedringer i prosessen sett i en livsløpsammenheng.

Ved valg av funksjonell enhet er det tatt hensyn til at levetiden for byggematerialene er forskjellig. I Norge er det vanlig å uttrykke energiforbruk og luftmengder pr. m² gulvflate. Den funksjonelle enhet er derfor definert som pr. m² og 50 år.

I kartleggingstrinnet er energi- og råmaterialbruk samt utslipp til luft kvantifisert gjennom hele livsløpet. Dette er gjort ved å beskrive og kartlegge/beregne alle råmaterialer som inngår i fremstillingen av de forskjellige byggematerialene. Dette har vært én av de viktigste oppgavene i prosjektet.

I trinn 3, vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger, er det de potensielle påvirkningene som vurderes. Dette inkluderer aktivitetene klassifisering, karakterisering og vekting. Klassifiseringen grupperer utslippene i påvirkningskategorier, mens karakteriseringen kvantifiserer bidragene fra de ulike påvirkningskategoriene. Vektingen foretar en vekting mellom de ulike påvirkningskategorier. Følgende kategorier av miljøpåvirkninger er vurdert:

1. Global klimaendring, som forårsakes av CO₂-utslipp
2. Forsuring, som forårsakes av svoveldioksyd SO₂ og nitrøse gasser (NO_x)
3. Fotokjemisk oksidasjon (ozondannelse nær bakkenivå), som i dette prosjektet forårsakes av flyktige organiske karbonforbindelser VOC-utslipp fra transporten
4. Overgjødning (eutrofiering) som forårsakes av nitrøse gasser (NO_x)

I tillegg er forbruk av ressurser i form av fossilt brensel vurdert.

For disse kategoriene er det ikke foretatt noen vekting. En vekting vil alltid inneholde et element av subjektivitet og verdivalg. Fastleggningen av verdien på vektingsparameteren kan aldri være basert på et strengt naturvitenskapelig metodegrunnlag slik at vektingstrinnet er et av de trinnene i en livsløpsvurdering som er kommet kortest i metodeutviklingen, og som også er mest omdiskutert.

En bygning er på mange måter spesiell og skiller seg fra andre produkter ved at ingen bygning er helt lik, verken under byggefasen eller i drift. Levetiden for bygninger er meget lang sammenliknet med de produkter en til nå har anvendt livsløpsvurderinger på. I tillegg vil det i løpet av livsløpet være mange som er involvert i bruken og i vedlikeholdet av bygningen.

Livsløpsvurderingene er basert på de prinsippene og retningslinjene som SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) og US EPA (United States Environmental Protection Agency) har lagt til grunn. Det er spesifisert 10 retningslinjer som er anvendt i dette prosjektet. For en av dem, som går på brennverdien i sluttproduktet, har en valgt å skille brennverdien ut for fornybare materialer som egen post i regnskapet og ikke ta den med i det totale energiforbruket. Brennverdien i plastmaterialer og biologiske materialer som er tilsatt brannhemmende kjemikaler, inngår derimot i totalsummen.

For trevirke er det valgt å betrakte tre som CO₂ nøytralt, dvs. det er likhet mellom opptak av CO₂ i veksten av treet og frigivelse av CO₂ ved nedbrytning eller brenning av trevirket.

Innsamlingen av data har vært begrenset til å omfatte forbruk av energi splittet på elektrisitet og fossilt brensel fra utvinning av råstoffer frem til produkt på byggeplass, splittet opp i delprosesser og transport samt utslippene av CO₂, SO₂, NO_x, VOC og støv.

VOC er kun beregnet ut fra transporten av materialene. Det er lagt vekt på at datamaterialet skal være så gjennomiktig som mulig, slik at det skal gå klart frem hva som inngår i det totale forbruket.

Transport i forbindelse med fremstilling av byggevarer i Norge er av stor betydning. Selv om produksjonen ofte ligger sentralt til de store utbyggingsområdene, vil det for enkelte produsenter, og spesielt for produsenter i perifere strøk, være en betydelig transportavstand av både råvarer og ferdige produkter. Utslippene av VOC skyldes i sin helhet transport av råvarer og produkter, mens ca. 10 % av CO₂-utslippene kommer fra transporten.

Det er gjennomført energi- og miljøregnskap for tre eneboliger og to kontorbygg. To av eneboligene er i tre med sokkeletasje i lettklinkerblokker og elektriske panelovner som oppvarmingssystem. Den tredje er en enebolig med 1. etasje og sokkeletasje utført i lettklinkerblokker og med et vannbårent oppvarmingssystem.

Det ene kontorbygget er et stålbygg, dvs. det er den bærende konstruksjonen som er i stål, mens det andre kontorbygget er et rent betongbygg. Materialene til oppføring av byggene er delt på tre områder; bærende konstruksjon, interiør (innervegger, isolasjon, vinduer osv.) og teknisk utstyr. For eneboligene i tre utgjør den bærende konstruksjon 70 - 74 %, mens interiøret utgjør vel 25 % og det tekniske utstyret 1 - 2 % av de totale massene. For eneboligen i lettklinkerblokker utgjør den bærende konstruksjon 87 % av massene, mens interiøret ligger på 11 % og det tekniske utstyret på ca. 2 %. For kontorbyggene er tilsvarende tall ca. 90 % på den bærende konstruksjonen, 7 - 8 % på interiøret og 2 - 3 % på det tekniske utstyret.

Det totale energiforbruket for fremstilling av eneboligene i tre fordeler seg noe annerledes idet interiøret står for ca. 50 % og den bærende konstruksjonen for 35 - 40 %, mens det tekniske utstyret står for 10 - 15 %. For eneboligen i lettklinkerblokker er de tilsvarende tallene 25 % på interiøret, vel 40 % på den bærende konstruksjonen og ca. 30 % på det tekniske utstyret, mens kontorbyggene har en jevnere fordeling av energiforbruket mellom bærende konstruksjon og interiør ~ 40 % og ca. 10 - 20 % på det tekniske utstyret.

For utslippene av CO₂ og delvis SO₂ (eneboligene) ligger hovedtyngden på den bærende konstruksjonen.

Energiforbruk og utslipp ved riving av bygg er lite undersøkt i Norge, men bruker en danske tall, utgjør energiforbruket til riving ca. 10 % av tilvirkningen av byggeomaterialene.

Med en kapp på 3 - 5 % og utskiftninger av vinduer, dører, gulvbelegg osv. over en 50-årsperiode utgjør dette 70 - 90 kg/m², mens kapp og spill ved oppføring av byggene utgjør 20 - 30 kg/m² for eneboligene og ca. 40 kg/m² for kontorbyggene.

For å sammenlikne byggene med tanke på energiforbruk og utslipp har en valgt å relatere (vekter) disse mot de totale norske energiforbruk og utslipp i 1993. På den måten vil en få frem en veid relasjon mellom energiforbruk og utslipp innenfor hvert bygg. Denne måten å

sammenlikne på viser at forbruket av fossil energi og utslippene av CO₂ og SO₂ bruker/bidrar mer enn forbruket av el og utslippet av NO_x relatert til forbruk/utslipp i 1993. Sammenlikner en de tre eneboligene, er det ingen forskjell mellom en stor og en liten enebolig i tre, mens eneboligen i lettklinker har et signifikant større forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂ og et enda betydelig høyere utslipp av SO₂. Går en oppstrøms i regnskapet for eneboligen i lettklinkerblokker, vil en se at det er tilvirkningen av lettklinker som gir de største bidragene til SO₂-utslipp. De totale utslippene i landssammenheng er imidlertid små.

For kontorbyggene i stål og betong er det ingen signifikante forskjeller verken på energiforbruk eller utslipp.

Tar en alle bygg oppført i 1993 og legger skoler, hoteller, helseinstitusjoner osv. inn under kontorbygg, og bruker energi- og miljøregnskapet for boliger og kontorbygg på disse, vil byggeaktiviteten i 1993 stå for 1 - 3 % av energiforbruket i 1993 og utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x utgjøre hhv. 3 % , 4,5 % og 1,5 % av de tilsvarende totale utslippene i 1993.

En sammenlikning av byggene innenfor kategoriene forbruk av ressurser, global klimaendring, forsurening, fotokjemisk oksidasjon og overgjødning viser alle den samme trenden. For boligene er det eneboligen i lettklinker som bidrar mest innenfor alle kategoriene, og forskjellene mellom denne boligen og treboligene er signifikante. Kontorbygget i stål synes å gi noe større bidrag enn kontorbygget i betong innenfor de ovenfor kategorier. Her er imidlertid forskjellene små.

Det er de akkumulerte utslippene som er registrert og de vil forekomme på forskjellige steder. For CO₂-utslippene som er en global effekt, vil den potensielle effekten være reell, men for utslippene av SO₂, NO_x og VOC vil disse være regionale utslipp som vil kunne ha liten samvirkning. Det er allikevel valgt å beregne de potensielle effektene ut i fra summen av alle utslipp - uavhengig av hvor de skjedde.

Det er vanskelig å påvise signifikante forskjeller mellom kontorbyggene, mens det mellom eneboligene er signifikante forskjeller mellom boligene i tre og boligen i lettklinkerblokker innenfor alle disse kategoriene. Eneboligen i lettklinkerblokker gir de største bidragene. Til tross for disse entydige resultatene ligger årsakene i bl.a. forskjellige tekniske løsninger. Boligene er reelle eksisterende boliger med bl.a. forskjellige oppvarmingssystemer. Eneboligene i tre har elektriske panelovner, mens boligen i lettklinkerblokker har et tungt vannbårent system. Dette kommer tydelig frem når en sammenlikner bidragene fra de tekniske installasjoner i boligene. Der vil en se at innenfor alle kategorier, unntatt fotokjemisk oksidasjon, er bidragene fra tekniske installasjoner betydelig høyere for

eneboligen i lettklinkerblokker enn for de andre boligene og forklarer derfor en del av forskjellen.

Dette viser at en skal være svært forsiktig med å trekke konklusjoner før en har forvissnet seg om at forutsetningene for en sammenlikning er de samme. Dette gjelder ikke bare sammenlikning av bygg, men generelt sammenlikning mellom materialer. I dette ligger det å velge riktig funksjonell enhet. Det å "misbruke" data for å trekke konklusjoner som passer en selv, kan være relativt lett i slike sammenhenger.

Når disse tallene settes inn i en større sammenheng, vil en se at bygg- og anleggsvirksomhetens utslipp av CO₂, SO₂ og NO_x i Norge er relativt små. De totale utslippene av CO₂ fra denne virksomhet i Norge i 1993 ligger i størrelsesorden 4-5 %. Utslippene fra driften av byggene bidrar noe, men for nye bygg er disse små da oppvarmingen i dag for en stor del er elektrisk. Til sammenlikning står oljerelatert virksomhet for ca. 30 % og veitrafikken for ca. 25 % av CO₂-utslippene.

SUMMARY

This project is the first major study of energy consumption and emissions from production of building materials in Norway. Fourteen Norwegian manufactures have been participating in the project covering the following materials; cement/concrete/mortar, light expanded clay aggregate concrete blocks, timber, aluminium, steel, chipboard/fibreboard, plasterboard, fibrous thermal insulation materials from glass, rock and cellulose, polyurethane, windows, roofing materials and PVC. These materials represent more than 95 % of the masses in a building. A description of the production process supplied with a flowsheet showing the materials included and an energy and environmental impact account from extraction of raw materials to erected buildings have been worked out for these materials. More than 30 different building materials will be found in a building. For those materials which are not included in this investigation, data from available literature have been used.

Life cycle assessment of products is a systematic way of assessing the influence on health, environment, and resources throughout the whole life cycle. The life cycle of a building consist of a) quarrying and refining, b) production of raw materials, c) manufacturing of building products, d) on site construction, e) use and finally f) demolition, reuse and disposal. All these phases consume energy and result in emissions to air, water and soil. The service life of a building is very long compared with other products, but is subjected to many uncertainties throughout the lifetime. In this project the lifetime of buildings have been chosen to be 50 years, even if the real lifetime of buildings will be much longer. The arguments to use 50 years are, that the demands to a building changes much quicker today than earlier and that ecolabeling (i.e. White Swan) of thermal insulation materials has set 50 years as a minimum lifetime for dwellings.

A life cycle assessment is made up of four components; 1) goal definition and scope 2) inventory analysis 3) impact assessment and 4) improvement analysis.

Considering that the service lives of building components vary and that it is common in Norway to express energy consumption in MJ/m², the definition of a functional unit has been chosen to be /m² 50 years.

In step 1, goal definition, the purpose has been to increase the knowledge about the product "buildings" and to compare differences in environmental impacts and depletion of resources between buildings.

Step 2, inventory analysis, data on consumption of energy, and raw material, have been collected and emissions to air quantified through the whole life cycle. This is done by describing and measuring/calculating all flows of raw materials, energy and emissions

connected to the production of different building materials. This have been one of the most important tasks in the project.

In step 3, impact assessment, the potential impact will be assessed. This includes the activities; classification, characterisation and evaluation. In the classification the outputs of the system are assigned to different impact categories based on the expected type of impacts on the environment, while characterisation quantifies the contributions from the different categories.

The following categories will be assessed.

1. Global warming caused by CO₂-emissions
2. Acidification caused by emissions of SO₂ and NO_x
3. Photo-oxidant formation caused by VOC from transport
4. Eutrophication from NO_x

In addition depletion of fossil energy will be assessed.

No evaluation between these categories will be carried out. An evaluation will consist of subjective elements and the weighing parameter can never be based on scientific methods alone. This will therefore be one of the most controversial elements of the life cycle assessment. A building is in many ways unique and different from other products because very few buildings are identical, neither during construction nor in use. In a life cycle assessments relation will the service life of a building be very long compared with other products. In addition many people are involved as well in use as in maintenance of the building.

The life cycle assessments are based on the principles and guidelines that SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) and US EPA (United States Environmental Protection Agency) have worked out. Ten guidelines/principles have been specified in the project. For wooden materials the wood is considered to be CO₂-neutral, i.e. photosynthesis of CO₂ during the growing of the tree and the liberation of CO₂ when the wooden material is burned or decomposed, will be equal.

The collection of data has been limited to energy, distinguishing between hydro electric power and fossil fuel, and emissions of CO₂, SO₂, NO_x, VOC and dust. VOC has been calculated from the transport of the materials and the data have been made as transparent as possible.

Transport connected to production of building materials and components contribute significantly to the emissions. Even if the production of building materials is located close to the building site and particularly for producers in remote areas there will be considerable

transport of as well raw materials as products. Most of the emissions of VOC come from transport of raw materials and products, while approx. 10 % of CO₂ -emissions are caused by transport.

Five buildings have been assessed, three single family houses and two office buildings. Two of the single family houses are made of wood with a basement build in light aggregate concrete blocks and heated by electric panel heaters. The third single family house is constructed with light aggregate concrete block walls and is heated by hot water radiators. The hot water is electrically heated in a boiler. One of the office buildings has a load bearing structure of steel, while the other is build in concrete.

The building masses have been divided into three areas; load bearing structure, interior (inner walls, insulation, windows etc.) and technical equipment. For the single family houses of wood, 70 - 74 % of the total masses belong to the load bearing structure, 25 % to the interior and only 1 - 2 % to the technical system. The similar figures for the third house shows 87 % of the total masses are connected to the load bearing structure, 7 - 8 % to the interior and 2 - 3 % to the technical system.

For the office buildings approx. 90 % of the masses come from the load bearing structure, 7 - 8 % from the interior and 2 - 3 % from the technical system.

The total energy consumption for the production of materials to the buildings is composed a bit differently than the masses. Approx. 40 - 50 % of the energy consumption is connected to the production of the interior materials, 35 - 40 % to the load bearing structure and 10 - 30 % to the technical system. The main part (60 - 70 %) of the emissions of CO₂ can be connected to the production of the load bearing structure.

Energy consumption and emissions from demolition of buildings have not been studied in Norway, but figures from Denmark indicate that energy consumption will be in the order of 10 % compared to the production of the materials.

Material offcuts (3- 5 %) and replacement of windows, doors, floor coverings etc. for a period of 50 years make up 70 - 90 kg/m², while similar figures in the construction period (offcuts only) are 20 - 30 kg/m² for the houses and approx. 40 kg/m² for the office buildings.

Assessing the buildings, i.e. normalising the figures against the total Norwegian consumption of hydro electric power and fossil fuels and emissions of CO₂, SO₂ and NO_x in 1993, shows that buildings contribute relatively more to the use of fossil fuel than hydro electric power and have higher emissions of CO₂ and SO₂ than NO_x related to emissions in Norway in 1993.

There are no significant differences between the two office buildings of steel and concrete. Comparing the houses show no significant differences between the two houses of wood, while the light aggregate concrete block house has significantly higher emissions of CO₂ and especially SO₂. The energy consumption of fossil fuel is also significantly higher. Going upstream in the account for that house shows that the largest contribution to the emissions of SO₂ comes from the production of the light aggregate concrete blocks. On a national basis, however, these emissions are small.

Assessing the buildings within the categories; use of resources, global warming, acidification, photochemical oxidation and eutrophication will show the same pattern.

It is the data for the accumulated emissions that have been used but the emissions occur in different places. The CO₂ emissions, which is a global effect, will be real, but the emissions of SO₂, NO_x and VOC will be regional emissions and may not have synergetic effects. It has, however, been decided to calculate the potential effects by adding all the emissions wherever they occur.

It is difficult to demonstrate any significant differences between the two office buildings, while the houses there show a significant difference between the single family house made of light aggregate concrete blocks and the two wooden houses. The explanation to these differences will be found in the load bearing structure as well as in the technical equipment. The heating systems are different for the houses made mainly of wood and the one made of light aggregate concrete blocks. The wooden houses use electric panel heaters while the other use hot water radiators. In all the categories except photochemical oxidation the contribution from the technical systems are larger for the single family house made of light aggregate concrete blocks than the two other houses.

It is important not to draw any conclusions until all elements are comparable. This is important not only for assessing buildings, but also in comparing materials. It is relatively easy to misuse data to draw conclusions to fit own interests.

When all these figures are seen in a national perspective the contribution from the Norwegian building industry of CO₂, SO₂ and NO_x emissions is relatively small. The emissions of CO₂ from this industry stands for 4 - 5 % of the total emissions of CO₂ in 1993. Emissions of CO₂ from the heating of buildings contributed in 1993 for approx. 8 - 10 % of the emissions of CO₂. For new buildings the heating energy is mainly hydro electric. The emissions of CO₂ from the building industry are small compared with the oil industry and the road traffic which respectively stands for 30 % and 25 % of the CO₂ -emissions in Norway in 1993.

1 INNLEDNING

Denne rapporten er en videreføring av forprosjektet 'Miljø- og energiregnskap for bygg' som ble avsluttet i januar 1992 og som ga en status (state of the art) på hva som frem til da hadde skjedd på området energi- og miljøbelastninger i forbindelse med produksjon av byggevarer i Norge og Norden [23]. I forprosjektet ble det trukket opp en del hovedaktiviteter som er videreført i dette prosjektet.

Prosjektet er en følge av innspill fra norsk industri, og i de 2,5 år arbeidet har pågått har de viktigste byggematerialprodusentene i Norge deltatt. Prosjektet ble i 1992 et EUREKA prosjekt under EURO CARE og med VTT i Finland som samarbeidspartner. Prosjektet er beskrevet i Eureka's database under EU 802 ENACCOUNT.

På nordisk basis ved NBS (Nordisk byggforskningsorganers samarbeidsgruppe) og innen ENBRI (European Network of Building Research Institutes), hvor Norge deltar, er det i den senere tid satt i gang prosjekter for å vurdere energi- og miljøspørsmål ved produksjon av byggematerialer. Resultatene fra denne undersøkelsen vil være et viktig norsk bidrag til dette samarbeidet.

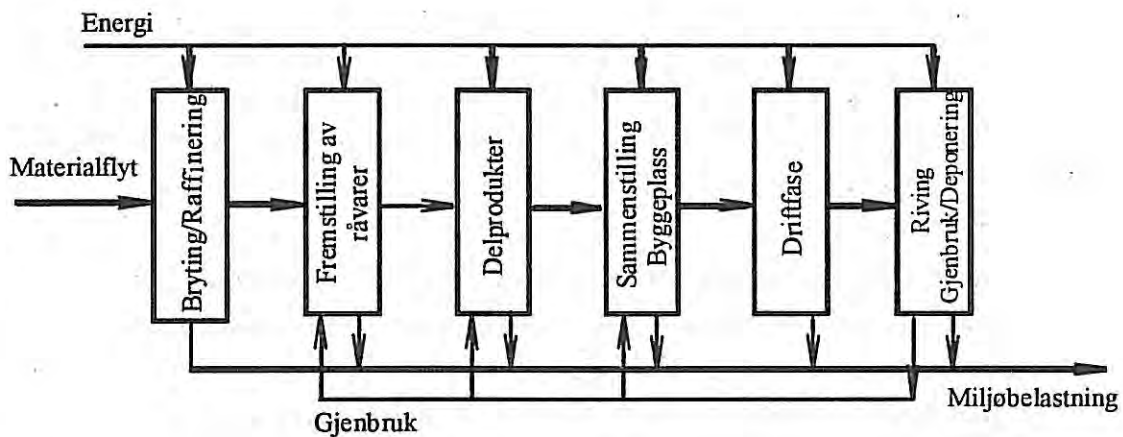
I løpet av den tid som er gått siden prosjektet startet, har livsløpsvurderinger (LCA, Life Cycle Assessment) kommet sterkere frem som et verktøy som kan brukes til evaluering av miljøkonsekvenser for et produkt eller for beslektede aktiviteter over hele produktets eller aktivitetenes levetid. Det er i dag en trend i mange land mot mer miljøvennlige produkter og prosesser. Dette henger sammen med den fokusering en har hatt i de senere år på forbruk av ikke fornybare ressurser og de miljøkonsekvenser en har sett spesielt i de østeuropeiske land og i republikkene som utgjorde det tidligere Sovjetunionen.

1.2 LIVSLØPSVURDERINGER

Livsløpsvurderinger er en måte å evaluere miljøeffektene på, som er knyttet til gitte aktiviteter, fra råmaterialene tas ut av naturen til de samme materialene er returnert til naturen [27]. Denne "vugge til grav" analysen er i ferd med å vinne innpass i de fleste industrisektorene og har eksistert i over 20 år. Både SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) og US EPA (United States Environmental Protection Agency) [46] [87] har i de senere år arbeidet med prinsipper og retningslinjer for en nøytral og vitenskapelig orientering av livsløpsvurderinger. Disse retningslinjene bygger på erfaringer som har utviklet seg over mange år. Kvaliteten på en livsløpsvurdering avhenger bl.a. av hvor nøyaktig en klarer å kartlegge energiforbruk og utslipp for de materialene som inngår i

analysen og hvordan en gjør de avgrensningene som en nødvendigvis må gjøre i en slik analyse [32] [37] [38] [45] [49] [50] 104] [116].

En livsløpsvurdering for byggematerialer omfatter utvinning og fremstilling av råvarer, produksjon av delprodukter, sammenstilling på byggeplass, bruk/gjenbruk/vedlikehold i byggets levetid, riving, resirkulering og deponering av materialene når bygget er revet. Innenfor alle disse områdene kommer transport og distribusjon. For en bygning kan det illustreres på følgende måte:



Figur 1

Livssykluser for bygninger

• Dette er en omfattende og komplisert prosess som går over mange år og hvor en må gjøre en rekke antakelser.

En livsløpsvurdering tar utgangspunkt i et produktsystem, og vurderer helse, miljø- og ressursmessige forhold ved dette systemet gjennom hele produktets livsløp. Tre sentrale poenger ved en livsløpsvurdering er derfor at:

1. en ser på hele det tekniske system som skal til for å frembringe, bruke og avhende produktet og ikke bare på produktet
2. en ser på hele materialsyklusen langs produktets verdikjede og ikke bare på en enkel operasjon eller bearbeidingsprosess for et produkt
3. en ser på alle relevante helse, miljø- og ressurspåvirkninger for hele systemet og ikke bare på enkelte miljøfaktorer

I grove trekk kan en si at en livsløpsvurdering gir svar på følgende sentrale spørsmål:

- * Hva er de viktigste av helse-, miljø- og ressursproblemer knyttet til et bestemt produktsystem?

- * Hvilke deler av systemet gir de største bidragene til disse problemene?
- * Hva er de mest kostnadseffektive løsningene på disse problemene?

Det finnes foreløpig ingen internasjonal standard for livsløpsvurderinger, men det er innenfor ISO/TC 207 "Environmental management" opprettet en arbeidsgruppe som ser på livsløpsvurderinger.

En komplett livsløpsvurdering består vanligvis av 4 trinn:

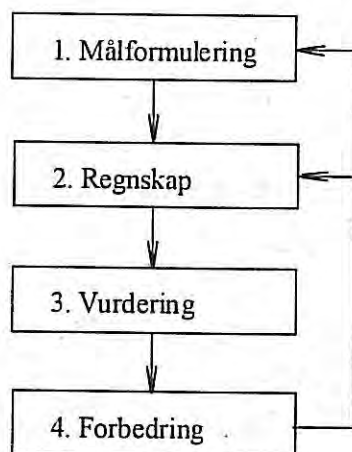
I trinn 1 defineres målet og omfanget av undersøkelsen. Her defineres også innenfor hvilke systemgrenser undersøkelsen skal finne sted.

Trinn 2 omfatter analyser av de material- og energistrømmer som finner sted innenfor de systemgrenser en har satt.

Trinn 3 deles i tre undergrupper:

1. Klassifisering - utslippene klassifiseres i påvirkningskategorier.
2. Karakterisering - bidragene fra hver påvirkningskategori estimeres ut fra kvantitative eller kvalitative metoder.
3. Vurdering, verdsetting - vektlegging av påvirkningen fra hver påvirkningskategori sammenlignes og summeres.

I trinn 4 analyseres resultatene og en kan forsøke å finne "hot spots", og deretter foreslå tiltak for å redusere miljøbelastningene.



Figur 2

Trinnene i en livsløpsvurdering

Valg av funksjonell enhet vil i mange analyser ha sentral betydning i forhold til resultatet av en sammenlignende studie. En funksjonell enhet er et uttrykk for hvor effektivt et produkt

løser spesifikke behov for en bruker, kvantifisert i forhold til den mengden materialer av et produkt som går med til å dekke dette behovet.

Som funksjonell enhet i forbindelse med sammenligning av bygninger har en valgt m² gulvflate over byggets levetid (i dette prosjektet satt til 50 år). Dette fordi det er vanlig å uttrykke energiforbruk, luftmengder osv. pr. m² når et bygg er i bruk. Tidsaspektet er viktig for å synliggjøre bruken og vedlikeholdet av byggets effekt på miljøbelastningene. Det er valgt å benytte en levetid på 50 år for bygget selv om den reelle levetiden på bygningen i de fleste tilfeller vil være mye lengre. Dette fordi kravene til bygg forandres mye raskere nå enn tidligere og en har i arbeidet med miljømerking av isolasjonsmaterialer, CEN/TC88/WG2, satt 50 år som minimum levetid for boliger.

Den funksjonelle enheten vil i neste omgang fastlegge materialstrømmen av råvarer og produkter oppstrøms og nedstrøms for brukerfasen. Den funksjonelle enheten for et bygg vil bestemme hvor store energi- og råvarestrømmer som kreves for å produsere ulike materialer for bygget og for selve oppføringen, drift og vedlikeholdet av bygget. Denne energi- og materialflytanalysen viser hvilke strømmer som er store og viktige, og hvilke som vektmessig er av mindre betydning i forhold til innsamling av data for produksjon av råvarer.

For et bygg vil bærende konstruksjoner utgjøre en betydelig større andel av byggets totale masse enn innredning og teknisk materiell. For å vise miljøprofilen og potensialet for forbedring for innredning og det tekniske system, deles derfor produktsystemet for et bygg i tre delsystemer:

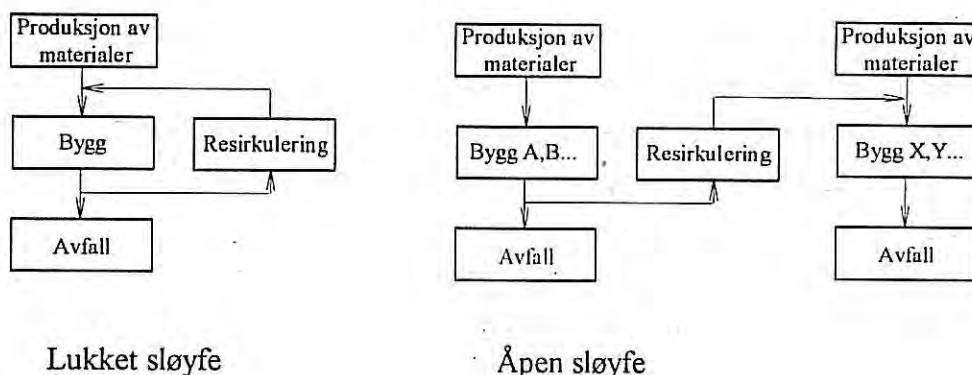
- * bærende konstruksjon
- * innredning, isolasjon og vinduer
- * teknisk system

Regnskapet i en livsløpsvurdering vil som regel ha en blanding av data som er produktspesifikke, bransjespesifikke og data som er basert på nøkkeltall (transport).

For byggematerialer vil resirkulering være av stor betydning, både som produktresirkulering (dører, vinduer) og gjenbruk av materialer (stål, aluminium). En skiller her mellom to prinsipper - åpen og lukket resirkulering. For byggematerialer vil det være en kombinasjon av begge disse prinsippene.

Gjenbruk av bygningsmaterialer er avhengig av hvilke materialer som betraktes og hvor de produseres. For å forenkle denne problematikken, har en valgt å forutsette 80 % gjenvinning for aluminium [28], mens det for stål forutsettes at alle flate produkter (plater)

er malmbasert, mens valsede bygningsbjelker og armeringsstål er produsert fra skrapjern [76]. Gjenvinningen betraktes som stasjonær idet en ikke ser på forhistorien til materialene, men at materialene første gangen de brukes tar hele miljøbelastningen. Levetiden på byggematerialer er lang, og en fordeling av belastningene utover i gjenbruksfasene er ikke funnet hensiktsmessig.



Figur 3
Resirkulering av byggematerialer

Den miljøbelastningen og de kostnadene som går med til å transportere materialene til et produkt og produktet selv, har vært noe mindre diskutert i miljødebatten. Ved å betrakte miljøbelastningene og de økte transportkostnadene ved innføring av CO₂ avgifter, vil det kunne føre til at produksjon langt unna hovedmarkedet vil komme ugunstig ut. Resultatene av livsløpsvurderinger kan derfor meget vel bli at sentralt plassert produksjon blir favorisert gjennom myndighetenes virkemidler.

Vurdering av miljøpåvirkninger i en livsløpsvurdering vil normalt ikke være basert på stedsspesifikke data og forhold, i og med at det ofte brukes gjennomsnittsdata og data for materialer av ukjent opprinnelse. En livsløpsvurdering kan derfor som regel ikke vurdere annet enn de potensielle påvirkningene et produktsystem kan ha på sine omgivelser. Dette er et viktig utgangspunkt for å forstå prinsippene og metodene for vurdering av miljøpåvirkninger i livsløpsvurderingen, som for alle kategorier forsøker å vurdere de maksimale påvirkninger et system kan ha på omgivelsene.

I en fullstendig livsløpsvurdering bør en ideelt sett ta med alle utslipp for å kunne kartlegge alle påvirkninger. Det første som gjøres under trinn 3, vurderingen, er å klassifisere miljøbelastningene i forskjellige påvirkningskategorier. Det er vanlig å dele klassifiseringen i tre hovedkategorier [50]. Disse kan igjen deles i underkategorier.

Hovedkategorier	Underkategorier
1. Forbruk (uttømming) av ressurser	1.1 Energi og materialer
	1.2 Vann
	1.3 Land
2. Helsemessige påvirkninger	2.1 Toksiske påvirkninger
	2.2 Fysiske påvirkninger
	2.3 Psykologiske påvirkninger
	2.4 Sykdom pga. biologiske organismer
3. Økologiske påvirkninger	3.1 Global klimaendring
	3.2 Nedbryting av ozonlaget i stratosfæren
	3.3 Forsuring
	3.4 Eutrofiering
	3.5 Dannelse av fotooksidanter
	3.6 Økotoksiske påvirkninger
	3.7 Påvirkninger på biologisk mangfold

Tabell 1
Klassifisering

Evalueringen av helse- og miljøpåvirkning som er påvist å være relevant ved klassifiseringen, består i å kvantifisere ut fra kjente fysiske/kjemiske og økologiske modeller. I dette trinnet i livsløpsvurderingen øker usikkerheten betydelig fordi det for mange typer påvirkning hersker stor usikkerhet i omregningsfaktorer basert på dose/respons-forhold, og fordi det for mange påvirkninger mangler aksepterte omregningsfaktorer. De miljøpåvirkningene som en pr. i dag har best grunnlag for å gjennomføre en evaluering av, synes å være:

- * forbruk av fornybar og ikke fornybar energi
- * globale klimaeffekter
- * dannelse av fotooksidanter
- * ozonnedbryting
- * forsuring og gjengroing av vann og vassdrag

For de andre kategoriene blir beregningene både usikre og vanskelig å sammenligne.

Innemiljøet utgjør en meget viktig del ved vurderingen av et bygg. I denne rapporten er imidlertid ikke dette med. Det skyldes at en har valgt å se på emisjoner til det ytre miljøet og ikke minst fordi en vurdering av innemiljøet krever kunnskaper/målinger av emisjoner fra de

ferdige bygningsmaterialene til innemiljøet som er omfattende og lite dokumenterte i dag. Innemiljøvurderingen som hører til kategorien helsemessige påvirkninger i livsløpsvurderingen og er i seg selv så kompleks at den alene vil utgjøre et eget prosjekt.

De kategorier som er aktuelle å vurdere i dette prosjektet vil være:

Forbruk av ressurser

Forbruket av ressurser vil bli begrenset til bare å omfatte fossilt brensel. En sammenligning av forbruket mellom de forskjellige byggene vil bli vist.

Global klimaendring

Utslipet av karbondioksid (CO₂), metan (CH₄), lystgass (N₂O) og noen fluorholdige gasser og enkelte andre gasser vil kunne medføre klimaendringer på jorda. En økende konsentrasjon av disse gassene vil forhindre utstråling fra jorda og kan gi et varmere klima. CO₂ er den viktigste av disse drivhusgassene og i Norge har CO₂-utslippene blitt fordoblet i løpet av de siste 30 årene. Global klimaendring beregnes i CO₂-ekvivalenter [122], og i dette prosjektet er det kun CO₂-utslipp som vurderes. Norsk målsetning er at CO₂-utslipp skal begrenses slik at de i år 2000 ikke skal være større enn hva de var i 1989, dvs. ca. 35 mill. tonn [64].

Forsuring

Utslippene som kan bidra til forsuring er svovel- og nitrogenoksider og ammonium. Disse forsurer vassdrag og skader fiskebestand og planteliv. 95 % av svovelnedfallet og 86 % av nitrogennedfallet i Norge skyldes langtransport fra Storbritannia, sentraleuropa og Russland. Utslippene fra produksjon av byggevarer som bidrar til forsuring er SO₂ og NO_x. Effekten er beregnet ut fra H⁺-ioner. SO₂ bidrar med 2 mol protoner pr. mol svovel. NO_x bidrar med 1 mol protoner pr. mol nitrogen når forsuringen fra NO_x betraktes som den potensielle effekten.

Beregning av forsuring:

$$\text{H}^+\text{-ekvi/m}^2 = 2 \times \frac{\text{utslipp av SO}_2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times \text{molekt for H}}{\text{molekt av SO}_2} + 1 \times \left(\frac{0,5 \times \text{utslipp av NO}_x \text{ (kg/m}^2\text{)}}{\text{molekt av NO}} + \frac{0,5 \times \text{utslipp av NO}_x \text{ (kg/m}^2\text{)}}{\text{molekt av NO}_2} \right) \times \text{molekt H}$$

Det er antatt at NO_x består av 50 % NO og 50% NO₂.

Internasjonale mål for utslipp av SO₂ er 30 % reduksjon innen 1993, med basisår 1989. For NO_x-utslippene er det en stabilisering innen 1994, med 1987 som basisår.

De norske målene for SO₂ utslippene var 50 % reduksjon innen 1993, som en har nådd, og 76 % i år 2000, med basisår 1980 (141 000 tonn) samt 30 % reduksjon av NO_x-utslippene innen 1998, med basisår 1986 (200 000 tonn).

Dannelse av fotooksidanter

Ozon ved bakken er, selv ved små konsentrasjoner, skadelig for helse og miljø. Det er utslipp av metan (NH₄), flyktige organiske forbindelser (VOC), nitrogendioksider (NO_x) og kulloksid (CO) som gjør at det dannes for mye ozon ved bakken. Bidraget fra CO er neglisjerbart sammenlignet med VOC.

Fotokjemisk oksidasjon vurderes ut fra POCP-verdier (Photochemical Ozone Creation Potentials)

POCP-verdi for VOC fra forbrenning av diesel = 0,30 (pentane)

POCP-verdi for VOC fra forbrenning av fyringsolje = 0,45 (hexane)

Dette er verdier som er relative til eten (eten = 1).

Langtransportert ozon er hovedårsaken til de høye ozonkonsentrasjonene i Norge. På 100 år er gjennomsnittsnivået for ozon fordoblet i store deler av landet. Internasjonale mål for utslipp av VOC er 30 % reduksjon av utslippene innen 1994, med basisår 1989.

Overgjødning

Tilførsler av næringssalter (fosfor og nitrogen) til vann fører til overgjødning (eutrofiering).

Det er NO_x fra produksjon av byggematerialer som bidrar til overgjødning pga. ekstra tilførsel av nitrogen. Utslippene beregnes om til COD (kjemisk oksygenforbruk). Det antas at NO_x foreligger som NO₂ og at det forbrukes 8,6 mol oksygen pr. mol nitrogen.

Beregning av overgjødning:

$$\text{COD (kg/m}^2\text{)} = 8,6 \times \frac{\text{utslipp av NO}_x \text{ (kg/m}^2\text{)} \times \text{molvekt av O}}{\text{molvekt av NO}_2}$$

Norske mål for tilførsel av næringssalter på kyststrekningen Østfold-Agder er en reduksjon på 50 % innen 1995, med 1985 som basisår.

I mange tilfeller vil det være ønskelig å komme frem til en samlet vurdering av ulike miljøpåvirkninger fra et produktsystem, eller kunne rangere de ulike miljøpåvirkningene mot hverandre etter viktighet. En slik vekting vil alltid inneholde et element av subjektivitet og verdivalg. Fastsettelsen av verdien på vektingsparametrene kan aldri være basert på et strengt naturvitenskapelig metodegrunnlag. Vektingstrinnet er derfor ett av de trinnene i livsløpsvurderingen som er kommet kortest i metodeutviklingen, og som også er mest omdiskutert.

Det vil imidlertid være lite tilfredsstillende å ikke komme frem til en endelig prioritering av hvilke tiltak som bør utredes/gjennomføres for å miljøforbedre et produktsystem. For å kunne lage en slik prioritering er man nødt til å prioritere mellom miljøpåvirkninger, fordi en forbedring av systemet i én retning vil kunne føre til reduksjon av én type miljøpåvirkning (f.eks. antall forsureningskvivalenter), mens en annen miljøpåvirkning kan øke i omfang (f.eks. eutrofiering av vassdrag).

For å møte slike beslutningssituasjoner er det derfor under utvikling ulike typer miljøindikatorer, som baseres dels på økologiske forhold, dels på mer subjektive vurderinger. En innfallsvinkel er den såkalte Critical Volume-modellen, som tar utgangspunkt i en ønskelig miljøstandard i de økologiske systemene. Denne kan enten være fastsatt som et minimumsnivå ut fra myndighetenes prioriteringer (Maksimum akseptkriterier) eller ut fra mer vitenskapelige vurderinger av naturens tålegrense for ulike typer påvirkninger. Eksempler på slike modeller er bl.a. BUWAL-systemet fra Sveits, og et system utviklet ved Leiden-universitetet i Nederland [37] [38].

En annen innfallsvinkel er å benytte betalingsvillighet for å redusere skadene for visse typer miljøpåvirkninger som en indikator på viktigheten av de enkelte miljøpåvirkningene. Betalingsvillighet kan både ta utgangspunkt i samfunnets totale betalingsvillighet, f.eks. ut fra brutto nasjonalproduktet [79] eller den enkelte innbyggers betalingsvillighet [75]. I en total vekting av mange miljøpåvirkninger er den siste tilnærmingen utvilsomt den mest kompliserte.

En innfallsvinkel som også kan gi et visst grunnlag for prioritering mellom ulike miljøpåvirkninger, er en normalisering av utslippsdataene for produktsystemet i forhold til totale nasjonale utslippstall eller politiske mål for utslipp. Problemet med en normalisering er i første rekke at det er vanskelig å finne nasjonale tall for alle typer påvirkninger som man kan sammenligne systemets utslippstall med. Humantoksisitet og økotoksisitet er to eksempler på slike problemområder. For det andre vil ikke en høy score for én type forurensning nødvendigvis innebære at denne typen påvirkning bør prioriteres høyt, fordi normaliseringen ikke tar hensyn til at visse typer påvirkning er høyere prioritert enn andre.

En normalisering bør derfor ikke brukes ukritisk alene, men i kombinasjon med andre former for subjektive og objektive vektinger.

Norsk miljøpolitikk bygger på noen viktige prinsipper:

1. Miljøproblemene skal ses i hele sammenhengen fra råstoffuttak til deponering etter bruk, dvs. livsløpsvurderinger.
2. Mangel på vitenskapelig forankring skal ikke være argument for ikke å gjøre noe med miljøproblemene (føre-var prinsippet).
3. Hver sektor har ansvaret for å løse sine miljøproblemer.
4. Den som forurensar, skal selv betale.

Miljøproblemer/miljøbelastninger er knyttet til det en kaller økologi. Ordet økologi er egentlig et verdinøytralt ord, men er i byggsammenheng blitt et moteord. Så lenge det brukes til å beskrive helhetlige sammenhenger (i f.eks. livsløpsvurderinger) er det også hensiktsmessig å bruke det som et begrep om bygninger og materialer.

Noen definisjoner av hva en legger i begrepet økologi knyttet til energi- og miljøregnskap for bygg, tas derfor med her.

Økologi er studiet av samspillet mellom organismer og omgivelsene.

Økobalanse er beskrivelsen og opplistingen av hovedpåvirkningene fra prosesser skapt av menneskeheten på omgivelsene, dvs. på luft, vann og jord. I tillegg er forbruket av energi og råmateriale tatt med.

Økoprofil er vurderingen og bedømmingen av miljøbelastninger basert på økobalansen og beregnet etter en eller annen modell.

Miljøbelastningene kommer fra energiforbruket (kull, olje osv.) og fra fremstillingsprosessen hvor det inngår en rekke råstoffer som igjen forårsaker forskjellige utslipp.

Hvordan disse resultatene presenteres vil være avhengig av hvor de skal brukes. I denne rapporten vil materialene bli presentert som energiforbruk i MJ/kg, MJ/m³ og utslipp i g/kg eller g/m³ av sluttproduktet, f.eks. sement, aluminium, tre osv. For bygninger og konstruksjonsdetaljer vil ressursforbruk (energi og materialer) og utslipp presenteres pr. m² areal (vegg, tak, golv), eller pr. m² gulvflate sett over byggets levetid (funksjonell enhet).

I mange sammenhenger vil produktsystemene som analyseres være komplekse og datainnhenting vil dermed bli omfattende. Behovet for forenklinger vil være til stede, og man vurderer derfor om det er deler av produktsystemet som kan utelates. Det anbefales at alle deler av livsløpet tas med i analysen, men forenklinger kan i noen sammenhenger foretas.

I mange tilfeller er det spørsmål om det er nødvendig å vurdere emisjoner fra produksjonen av alle råstoffer/hjelpestoffer i små mengder som inngår i produktsystemet eller om det kan forsvares å utelate disse. I en del livsløpsvurderinger er det benyttet en "cut-off"-prosent for dette. Med "cut-off" menes at emisjonene fra fremstilling av råstoffer under en viss vekt% av produktet utelates. Dette kan påvirke resultatene signifikant hvis det benyttes ukritisk.

I de fleste livsløpsvurderinger som er gjennomført, viser det seg at utslipp i form av CO₂, SO₂, NO_x, CO og radioaktivt avfall vil være dominert av bruken av energi. Dermed er det mulig å splitte emisjoner i energi-relaterte og prosess-spesifikke emisjoner.

Det anbefales ikke å benytte en "cut-off" for prosesser man vet har prosess-spesifikke emisjoner eller ressurser, selv om materialet inngår i produktet i små mengder. Med tanke på prosesser som kun har energi-relaterte emisjoner, er det mulig å fastsette en "cut-off"-prosent.

For å utelate en prosess eller aktivitet i livsløpsvurderingen er det to typer kunnskaper som bør ligge til grunn for vurderingen:

- gode kunnskaper for å kunne vurdere om det er noen prosess-spesifikke emisjoner forbundet med den aktuelle prosessen som er av betydning for analysen
- økologiske kunnskaper for å kunne vurdere om emisjonene fra de utelatte prosessene vil påvirke totalresultatet for analysen.

2 PRODUKSJON AV BYGGEMATERIALER

2.1 FORMÅL

En av hensiktene med denne undersøkelsen er å vurdere og sammenligne ressursforbruk og miljøbelastninger for forskjellige typer bygninger og bygningskomponenter ved bruk av den metodikk som er utviklet i forbindelse med livsløpsvurderinger og med de begrensninger som er beskrevet i avsnitt 2.2. Et annet mål er å fremskaffe data for de mest vanlige byggematerialer i Norge.

Innsamling av data for de enkelte byggematerialer er gjort for å etablere en basis av informasjon på materialenes totale ressursbruk, energiforbruk og miljømessige belastninger fra råstoffuttak, transport til produksjonssted, produksjon og transport til byggeplass slik det er i Norge i dag. Retningslinjene for dette er beskrevet under avsnitt 2.3.

Dette er gjort ved å beskrive de prosessene for fremstilling av bygningsmaterialer slik virkeligheten er i de bedriftene som produserer materialene. Når det gjelder råstoffuttaket og transporten av råmaterialer frem til produksjonssted, er datamaterialet noe mer usikkert enn selve produksjonsprosessen. Produksjonsprosessen er i hovedsak basert på bedrifts-spesifikke data. For enkelte produkter er datamaterialet gjennomsnittstall for flere bedrifter innenfor samme selskap, mens det for andre produkter er benyttet gjennomsnittlige tall for bransjen. Det vil gå frem under beskrivelsen av de enkelte materialene hva som er benyttet.

Det er lagt vekt på å få frem tallmateriale som er karakteristisk for Norge, med bakgrunn i energisituasjonen vi har i vårt land. På utslippsiden er det sett på CO₂, SO₂, NO_x og støv. Dette er utslipp som både har stor global og lokal betydning for det ytre miljøet, som det er satt norske miljømål for og hvor Norge har inngått forpliktelser på å oppfylle.

For materialer som ikke er med i dette prosjektet, men som en vil finne i bygg, vil en forsøke i den utstrekning det er mulig å bruke tallmateriale fra andre kilder.

På grunn av nye prosesser og ny teknologi vil det være en kontinuerlig prosess å oppdatere tallmaterialet. Det vil derfor gå frem av tallmaterialet for energiforbruk og miljøbelastningene fra hvilket år disse gjelder.

I presentasjonen skiller en mellom ikke fornybar energi (fossil) og fornybar energi (elektrisk energi fra vannkraft, biologisk energi). I tillegg har en forsøkt å trekke ut transportdelen hvor dette er mulig.

2.2 PRINSIPPER, METODER OG BEGRENSNINGER

Innsamlingen av data har ikke hatt som prinsipp at de forskjellige materialene skal sammenlignes mot hverandre. En sammenligning må gjøres ut fra hvilken funksjon materialene har, f.eks. en bærebjelke i stål mot en i tre.

Det er viktig at randbetingelsene er vel definerte og er de samme for alle materialene. I dette tallmaterialet er det benyttet netto-energitilgang. Det vil si for fossil energi er det kaloriverdien (uten precombustion) som er benyttet (LHV, low heating value). For elektrisitet er det forbruket i prosessen/fabrikken (inntak vegg) som er benyttet, idet tapet fra potensiell energi i dammen frem til fabrikk ikke er tatt med. Dette tapet representerer vel 10 % av den potensielle energien.

I denne totalanalysen hvor en har bestemt hvor mye energi som er medgått til fremstilling av de forskjellige byggevarene, er det ikke bare den direkte energien som går med til brennstoff og drift av maskiner, men også den energi en trenger for å få de enkelte materialer tilgjengelig ved råstoffremstillingen.

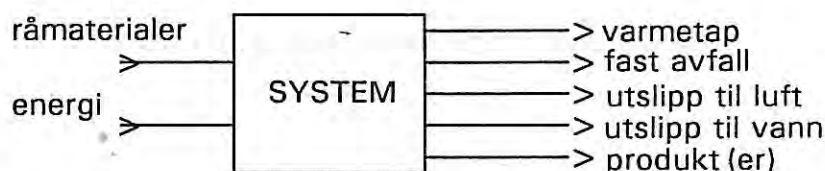
Det savnes imidlertid en standard for hvordan denne innsamlingen skal skje, men en del prinsipper hersker det enighet om. De prinsipper og metoder som er lagt til grunn ved innsamling av data, har vært basert på arbeider utført i SETAC [14], EPA [46] [87] og IFIAS [103].

Innsamlingen av data har vært begrenset til å omfatte forbruk av energi, fra utvinning av råstoffer frem til produkt på byggeplass, splittet opp i delprosesser og transport samt tilhørende utslipp av CO₂, SO₂, NO_x, og støv.

Det er lagt vekt på at datamaterialet skal være så transparent som mulig, slik at det ikke skal være noen misforståelser når det gjelder hva som inngår i det totale forbruket.

For en fullstendig analyse for bruk i livsløps-sammenheng må en ta med alle miljø- og ressursforhold, også utslipp til vann og deponering av avfallsprodukter.

Avfallshåndteringen er et meget viktig område innenfor både tilvirkningen av byggematerialer og oppføring/riving av bygg. Dette området har ikke fått den tyngden som det egentlig burde ha i et slikt prosjekt, idet en her har valgt å vektlegge utslippene mot luft. Kostnader i forbindelse med avfallshåndtering og mangel på fyllplasser vil sannsynligvis i løpet av kort tid flytte fokuseringen mot dette området.



Figur 4
Ressursforbruk og utslipp ved livsløpsvurderinger

Energi, forbruk av råmaterialer, fast avfall til deponi, utslipp til luft og vann belastes normalt sluttproduktene, dvs. at alt utslipp av f.eks. CO₂ fra fremstilling og transport osv. inngår i miljøregnskapet til sluttproduktene. Det betyr at en kan betrakte det faste avfallet som et nytt jomfruelig råstoff hvis en senere finner anvendelsesmuligheter for det. Hvis en derimot i prosessen leverer avfallet fra sin egen prosess som et råstoff til noen andre, betraktes det som et produkt i prosessen.

2.3 KONVENSJONER PÅ ENERGIBEHOV - ENERGIFORBRUK

Mengden av den totale energien, fra fremstilling/bryting av råstoffer frem til ferdig produkt som prosessene beslaglegger inklusiv kaloriverdien til sluttproduktene, kalles brutto energibehov, GER (Gross energy requirement). Denne konvensjonen er egentlig beskrevet for brennstoff, hvor verdien inneholder det som er konsumert, transformert, forkastet og/eller lagret i sluttproduktet.

Hvis kaloriverdien i sluttproduktet ikke tas med, har en netto energibehov, NER (Net energy requirement). Ett eksempel på dette er plastmaterialer hvor råstoffet f.eks. naturgass inngår som et materiale og ikke som en energikilde.

Den energien som går med kun til prosessen for fremstilling av bygningsmaterialer, men hvor råmaterialenes energiforbruk ikke er tatt med, er prosessens energibehov, PER (Process energy requirement).

I tillegg har en energiforbruk ved fremstilling av energi, ERE (Energy requirement for energy). Det er den energien en trenger for å gjøre en enhet av energien tilgjengelig.

Ved fremstilling av diesel ved Statoil [32] er denne (precombustion) 2,34 MJ/kg, mens brennverdien (LHW) er 42,3 MJ/kg. Dette inkluderer råoljeproduksjon, raffinering og transport til servicestasjon, dvs. ERE utgjør 5,5 % av brennverdien på diesel. I [29] er de tilsvarende tallene 3,9 MJ/kg og 42,5 MJ/kg dvs. 9,2 %.

For elektrisk energi utgjør tapene frem til inntak vegg i følge [9] 12,4 %.

Innsamlingen av data for energiforbruk og miljøbelastninger har vært basert på følgende retningslinjer:

1. Energiforbruket og miljøbelastninger til fremstilling av bygninger og maskiner hvor bygningsmaterialet produseres er ikke medregnet.
2. Energi i form av menneskelig arbeidskraft er ikke medregnet.
3. Avfall som går til deponering tillegges ingen energiverdi, energiforbruk og miljøbelastninger inngår i produktene.
4. Energiforbruk og miljøbelastninger i en prosess som gir flere sluttprodukter fordeles på sluttproduktene etter vektandel.
5. Energiforbruk og miljøbelastninger til transport av energi er ikke medregnet (precombustion). Det vil si energiinnholdet og miljøbelastningene i forbruk av fossilt brensel beregnes etter kaloriverdi og utslipp, uansett hvor det kommer fra. Hvis fossilt brensel inngår som et råstoff, tas transporten med (f. eks. ved produksjon av plastmaterialer fra gass og olje).
6. Hvis et råstoff utgjør mindre enn 1 % i vektandel av råmaterialene, tas det ikke med med mindre dataene foreligger eller er skadelig * (f.eks. asbest).
7. Energi fra biologisk avfall av eget råstoff som inngår i prosessen tas med, utslippet av CO₂ fra forbrenningen av det tas ikke med.
8. Kaloriverdien i sluttproduktet er medregnet. For biologiske materialer hvor brennverdien er tilgjengelig (ikke kjemikaliebehandlet mot brann) skilles den ut som egen post i regnskapet.
9. Oppvarming, lys osv. inngår i energiforbruket.
10. Transport av råmaterialer medregnes (se pkt. 5), også transport av sluttprodukt til forbruker (bygg). Gjennomsnittstall til det norske markedet.

Biologisk produksjon, solenergi, bølgekraft, vindenergi og vannkraft betraktes som fornybar energi.

* Forskrifter om helsefare-, brannfare- og eksplosjonsfaremerking med tilhørende stoffliste [121].

3 ENERGIFORBRUK OG UTSLIPP VED TRANSPORT

Energiforbruk og utslipp ved transport vil variere avhengig av transportmiddel, kjøreforhold og kapasitetsutnyttelse. På grunn av fornyelser av transportutrustningen (bil, båt, tog osv.) vil det være et behov for å oppdatere dataene på transportsiden med visse mellomrom. I dette kapitlet er energiforbruket til transport i Norge beregnet med bakgrunn i tall fra Statistisk Sentralbyrå, Vestlandsforskningen, transportfirmaer og NSB. I tillegg er det gjort sammenligninger med hva som benyttes i andre land (Sverige, Danmark og Sveits).

3.1 FOSSILE MATERIALER

Energiinnhold, sammensetning og utslipp fra forskjellige fossile brensler og sprengstoff er vist i tabell 2. Tallmaterialet er basert på utslippkoeffisienter fra SFT [64] [65], BUWAL [29] og stoikiometriske beregninger etter karbon- og svovelinnhold.

Energi type	Brennverdi MJ/kg	Cinnhold %	Sinnhold %	Utslipp (g/kg)				
				CO ₂	SO ₂	NO _x	VOC	Partikler
Diesel vei/tog	42,3	86,0	0,14	3150	2,8	50,0	10,0	4,0
Diesel sjø	41,7	85,4	1,00	3150	20,0	46,0	5,0	4,0
Fyringsolje nr 6	41,7	85,4	1,00	3150	20,0	6,0		2,0
Kull/petcoke *	28,0		0,50	3050	1,0	4,5	0,5	
Antrasitt	37,6	95,0		3500		6,0		
Tre	16,9							
Bark og flis	14,4				0,4	0,9		2,4
Propan	46,0			3000		2,3		
Etylen	49,9							
PVC	23,5							
Dynamitt	4,6			290		1,0		
AN-olje	3,8			290		1,0		

* Kull karboninnhold 55 % + 35,5 % flyktige forbindelser dvs. hydrokarboner og vann
Petcoke karboninnhold 89-90 %

Tabell 2

Energiinnhold og utslipp fra fossile og biologiske materialer

3.2 VEITRANSPORT

Kaloriverdi diesel	42,3	MJ/kg					
Tetthet	0,84	kg/liter					
Utnyttelsesgrad	100	%					
Totalvekt tonn	Lastekap. tonn	Type	Forbruk l/mil	Sp.energiforb MJ/tonnkm	kg/tonnkm	Vogntog MJ/tonnkm	kg/tonnkm
7,5	4,5	Ford Cargo	2	1,5792	0,0373		
17,5	11,5		3,5	1,0814	0,0256		
23,5	14,5	FL-7 Volvo	4	0,9802	0,0232		
23,5	14,5	FL-10 Volvo	4,5	1,1027	0,0261		
23,5	14,5	FL-12 Volvo	5	1,2252	0,0290		
Hengere			Merforbruk				
10	8	1 aksel	0,25	0,1110	0,0026	0,6712	0,0159
20	15	2 aksler	0,5	0,1184	0,0028	0,6022	0,0142
26	19	3 aksler	0,75	0,1403	0,0033	0,6099	0,0144

Tabell 3

Forbruk av drivstoff ved forskjellige størrelse på lastebiler og hengere [16]

Med en kapasitetsutnyttelse på 60 % vil en lastebil med lastekapasitet på 14,5 tonn ha et energiforbruk på 1,85 MJ/tonnkm, mens et tilsvarende vogntog, lastebil med tilhenger og lastekapasitet 15 + 15 tonn, vil ha et energiforbruk på 1,0 MJ/tonnkm.

De etterfølgende beregningene av brenselforbruk for godstrafikk på vei er basert på tall fra Statistisk Sentralbyrå over drivstofforbruk og transportytelser i 1985. Tilsvarende er det beregnet for årene 1988 og 1991 [125].

Statistisk Sentralbyrå 1985

	Mill. Tonnkm	Bensin ktonn	Diesel ktonn
- Gods	667		24

Kaloriverdi	Diesel	42,3 MJ/kg
Tetthet		0,84 kg/liter

$$\text{Midlere spesifikt energiforbruk Gods} = \frac{24 \times 10^6 \times 42,3}{667 \times 10^6} = 1,52 \text{ MJ/tonnkm}$$

Statistisk Sentralbyrå 1988

Lastebiltransport	9802 mill tonnkm
Salg Autodiesel	1295 mill liter

En antar at halvparten går til godstransport [128]

Midlere spesifikt energiforbruk	$\frac{1294 \times 10^6 \times 0,84 \times 42,3}{9802 \times 10^6}$	= 2,34
MJ/tonnkm		

Statistisk Sentralbyrå 1991

Landtransport	7508 mill tonnkm
Autodiesel	807672 m ³

En antar at halvparten går til godstransport

Midlere spesifikt energiforbruk	$\frac{807672 \times 840 \times 42,3}{7508 \times 10^6 \times 2}$	= 1,94 MJ/tonnkm
---------------------------------	---	------------------

Midlere norske tall for årene 1985, 1988, 1991	1,9 MJ/tonnkm
--	---------------

Tall fra BUWAL [29] viser at transport med bil med full kapasitetsutnyttelse har et energiforbruk på 0,83 MJ/tonnkm (50 % kap.utnyttelse 1,66 MJ/tonnkm !).

Tillman [82] foreslår følgende tall for Sverige (50 - 60 % kap.utnyttelse):

Lastebiltransport, Langdistansetransport 0,9 MJ/tonnkm

Nærrområde	1,7 MJ/tonnkm
------------	---------------

Bykjøring	2,2 MJ/tonnkm
-----------	---------------

Tall fra Trafikministeriet i Danmark (1990) [114] : (kapasitetsutnyttelse ukjent)

Lastebil 25-30 tonn (1993 modell)	1,44 MJ/tonnkm
-----------------------------------	----------------

3.3 SKIPSTRANSPORT

Beregningene av brenselforbruk for godstrafikk på sjø er basert på statistikk over drivstofforbruk og transportytelser i 1985 [125] (kap.utnyttelse ukjent).

Kaloriverdi Diesel 41,7 MJ/kg

Kystruter

	Mill. Tonnkm	Diesel ktonn
- Gods	578	41

Midlere spesifikt energiforbruk $\frac{41 \times 10^6 \times 41,7}{578 \times 10^6} = 2,95 \text{ MJ/tonnkm}$

Lokalruter

	Mill. Tonnkm	Diesel ktonn
- Gods	33	1

Midlere spesifikt energiforbruk $\frac{1 \times 10^6 \times 41,7}{33 \times 10^6} = 1,26$

MJ/tonnkm

Nasjonale tall [2] for båter opp til 3000 tonn (kap.utnyt 43 %) er: 0,64 MJ/tonnkm

Tallene er noe høye sammenlignet med transport med en 3000 tonner på Rhinen [29] hvor forbruket ligger på 0,5 MJ/tonnkm (kap.utnyt. ukjent). For transport med store havgående transportskip på over 40 000 tonn ligger forbruket på 0,22 MJ/tonnkm.

Tilsvarende tall fra Sverige [82]:

Kysttransport	0,47 MJ/tonnkm
Tankskip	0,11 MJ/tonnkm

Tallene fra Trafikministeriet i Danmark er [114]:

Stor coaster	0,57 MJ/tonnkm
--------------	----------------

3.4 JERNBANE

Beregningene av forbruk av diesel for godstrafikk på jernbane er basert på statistikk over drivstofforbruk og transportytelser i 1985 og på målinger NSB utførte i 4. kvartal 1990 [78].

NSB er i ferd med å ta i bruk nye elektriske og dieseldrevne lokomotiv som vil ha mindre energiforbruk og gi mindre utslipp enn dagens lokomotiver.

3.4.1 DIESELDREVNE TOG

Fordelingen av diesel mellom passasjertog, godstog og andre tog er beregnet ut ifra vognkilometre [125].

	Mill. vognkm	Mill. tonnkm	Diesel ktonn
Passasjertog	4,5		
Godstog	2,4	420	
Andre tog	4,8		
Totalt	11,8		16

Kaloriverdi	Diesel	42,3 MJ/kg
Tetthet		0,84 kg/liter

$$\text{Midlere spesifikt energiforbruk} = \frac{16 \times 10^6 \times \frac{2,4}{11,8} \times 42,3}{420 \times 10^6} = 0,33 \text{ MJ/tonnkm}$$

Beregningen er heftet med usikkerhet med tanke på lik vektlegging av fordelingen mellom gods og annen trafikk. 0,33 MJ/tonnkm gjelder for fremført nyttelast (netto).

NSB målinger 4. kvartal 1990 [78]:

Fjerngodstog	5,3 liter/1000 tonnkm
Lokomotiv	1,3 liter/lokomotivkm Vekt lokomotiv 103 tonn
Midlere transportmengde 800 tonn/togsett inklusiv lokomotiv og vogner. Midlere kapasitets-utnyttelse for transport Trondheim-Bodø tur/retur er satt til 70 %.	

Spesifikt energiforbruk vogner	$\frac{5,3 \times 0,84 \times 42,3}{1000}$	= 0,19 MJ/tonnkm
Spesifikt energiforbruk lokomotiv	$\frac{1,3 \times 0,84 \times 42,3}{800 \times 0,7}$	= 0,09 MJ/tonnkm
<u>Totalt (brutto)</u>		<u>0,28 MJ/tonnkm</u>

Uttrykt ved fremført nyttelast fås (45 % gods) : 0,62 MJ/tonnkm

Gjennomsnittstallene for hele Norge vil være noe større p.g.a. kortere transportlengder, hyppigere nedbremsing og lavere kapasitetsutnyttelse.

Tallene fra Trafikministeriet i Danmark er [114]: 1,15 MJ/tonnkm

3.4.2 ELEKTRISK DREVNE TOG

Fordelingen av Elforbruk mellom passasjertog, godstog og andre tog er beregnet ut ifra vognkilometere.

	Mill. vognkm.	Mill. tonnkm.	Elektrisitet GWh
Passasjertog	18,0		
Godstog	7,8	2512	
<u>Andre tog</u>	<u>3,9</u>		
<u>Totalt</u>	<u>29,7</u>		<u>393</u>

$$\text{Midlere spesifikt energiforbruk} = \frac{393 \times 10^6 \times \frac{7,8}{29,7} \times 3,6}{2512 \times 10^6} = 0,14 \text{ MJ/tonnkm}$$

Beregningen er heftet med usikkerhet med tanke på lik vektlegging av fordelingen mellom gods og annen trafikk. Forbruket på 0,14 MJ/tonnkm gjelder for fremført nyttelast (netto).

NSB målinger 4. kvartal 1990 [78]:

$$\text{Energiforbruk El lokomotiv} = 13,2 \text{ MJ/km}$$

Transportmengde 950 tonn/togsett. Dette er vekt av både lokomotiv, vogner og gods. I gjennomsnitt utgjør lokomotiv og vogner over 50 % av totalvekten. Gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse for transport Oslo-Trondheim tur/retur er 70 %.

Fjerngodstog ekskl. lokomotiv		= 0,094 MJ/tonnkm
Lokomotiv	$\frac{13,2}{950 \times 0,7}$	= 0,020 MJ/tonnkm
Totalt (brutto)		0,114 MJ/tonnkm

Uttrykt ved fremført nyttelast (45 % gods) 0,25 MJ/tonnkm

Forbruket i følge BUWAL [29] er på 0,117 MJ/tonnkm.

Tall for Sverige på jernbanetransport er [82]: 0,3 MJ/tonnkm.

3.5 OPPSUMMERING

Den etterfølgende tabellen viser energiforbruk og utslipp på transport av råvarer og ferdig produkt i Norge. Med mindre det ikke er utført målinger på transporten, vil tallmaterialet fra den etterfølgende tabellen bli benyttet.

	ENERGI	UTSLIPP				
	Sp. energiforbruk MJ/tonnkm	CO2 g/tonnkm	SO2 g/tonnkm	NOx g/tonnkm	VOC g/tonnkm	Part. g/tonnkm
Diesel Veitransport	1,61	120	0,10	1,90	0,40	0,15
Diesel Sjøtransport	0,65	50	0,30	0,70	0,10	0,05
Diesel Jernbane	0,62	50	0,05	0,75	0,15	0,05
El Jernbane	0,25					

Tabell 4.
Transport

Tallene i tabellen er basert på kapasitetsutnyttelser fra 43 % til ca. 60 %. De bør derfor brukes med forsiktighet og de nødvendige forbehold til resultatene bør påpekes. Så langt det er mulig bør en bruke reelle tall.

4 MATERIALER SOM ER MED I DENNE UNDERSØKELSEN

For hvert enkelt materiale vil det være en prosessbeskrivelse med flytskjema over produksjonen og et flytskjema hvor en har satt opp massestrømmer ved fremstilling av byggematerialene. I tillegg viser en tabell energiforbruket og utslippet til luft av CO₂, SO₂, NO_x og støv (partikler). Det er tildels meget vanskelig og uhyre arbeidskrevende å følge alle råstoffer som inngår i et bygningsmateriale tilbake til sin naturlige opprinnelse. Dette betyr at en ofte vil ha "huller" i tallmaterialet hvor en mangler underlag for å sette opp regnskap på f.eks. utvinning, produksjon og transport. Disse hullene er forsøkt dekket ved å gjøre antakelser.

For trevirke er grensene satt slik at CO₂ balansen blir null, dvs. at det er likhet mellom opptak av CO₂ i veksten av treet og frigjøring av CO₂ i nedbrytningen eller brenning av trevirke.

4.1 SEMENT - BETONG

NORCEM A/S

Produksjonen av sement foregår i fire trinn [42] [79] [110]. Bryting av kalkstein, fremstilling av råmel, brenning i roterovn til klinker og maling i sementmølle. Ved Dalen Fabrikker ved Brevik bryter en kalkstein både i dagbrudd og i gruve. Renheten er 60 - 90 %, kalksteinen grovknuses. Ved tørrmetoden på Dalen Fabrikker males kalksteinen til råmel i tørr tilstand. Nødvendige korreksjonsmaterialer tilsettes i form av kvarts, kisavbrand, bauxitt, gips og/eller høyverdig kalkstein. Råmelet går til roterende sylindriske ovner for brenning ved temperaturer opptil 1450 °C. Under denne prosessen sintrerer partiklene sammen til små kuler, klinker. Klinkeren blir bråavkjølt i luftkjølere og transportert til lager for videre avkjøling og homogenisering. Klinkeren, som ligner på grus, nedmales i kulefylte rørmøller til sement med spesifikk overflate 260 - 500 m²/kg under tilsetning av 3 - 7 % gips.

Malingsgraden er bestemmende for sementens herdeforløp. Ved produksjon av blandingssementer tilsettes hydraulisk aktive materialer som flyveaske og slagg. Sementen transporteres til siloer for skipning og pakking.

Fremstillingen av sement er en meget energikrevende produksjon. I en moderne roterovn etter tørrmetoden brukes i underkant av 1 kWh pr. kg klinker. Våtmetoden krever 50 % mer energi enn tørrmetoden, avhengig av vanninnholdet i slammet. Som brennstoff benyttes i dag hovedsakelig kull, men i prinsippet kan alle fossile brennstoff brukes til fremstilling av klinker. Portlandsementens bindemiddelegenskaper er knyttet til dens kjemiske sammensetning og finhet. Under gradvis oppvarming i roterovnen unngås karbondioksid og kalken bindes kjemisk til kiselsyrer, aluminium- og jernoksyder.

Sementen inneholder også små mengder svovel-, magnesium-, og alkalioksider. Det er kalksilikatene som under langsom reaksjon med vann gir utfellinger som har sammenbindende egenskaper. Gips blir tilsatt sementen for å hindre øyeblikkelig størkning når vann iblandes. Ved innbyrdes forskyvninger i respektive mineralers andel sammen med sementens finmalingsgrad og ev. innhold av reaktive bindemiddelkomponenter (som slagg og flyveaske), kan kvalitet og bruksegenskaper endres i vesentlig grad.

I betong er sementens hovedfunksjon å binde sammen tilslagsmaterialene sand og stein samt armering til en tett, fast masse med høy styrke og bestandighet. Mørtelen atskiller seg fra betong ved at steinmaterialenes diameter er begrenset oppad til 8 mm, mens betong kan inneholde stein med diameter opp til 60 mm. Innholdet av sement er vanligvis høyere i mørtel (ca. 20 %) enn i betong (ca. 12 %, C 35). Høyere sementinnhold medfører større svinn ved herding. Betong og mørtel har vist seg å kunne ha en levetid på mer enn 100 år, dersom den er sammensatt, utstøpt og etterbehandlet på riktig måte. Betong har lav strekkstyrke i forhold til trykkstyrke. For å utlikne dette forhold legges det inn stålstenger eller stålnett med tilpasset ståltverrsnitt, som forankret i betongen vil kunne oppta de nødvendige strekkrefter. [7] [91] [92] [94] [101] [102] [126]

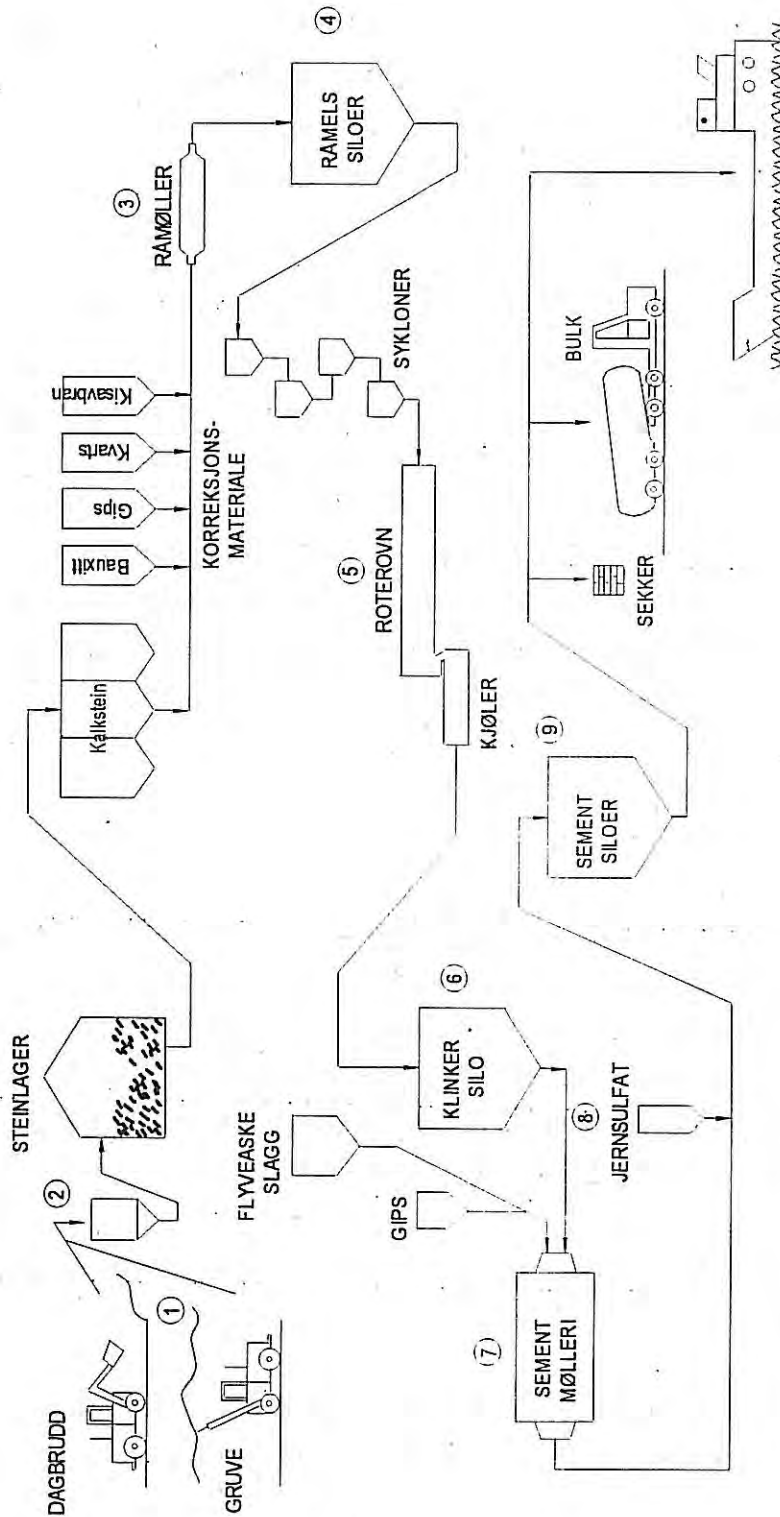
Transporten for råmaterialene til fremstilling av sement fra leverandører til produksjonssted og videre til bruker er basert på virkelig forbruk. Transportavstanden for sement i Norge er 450 km med båt og 50 km med bil.

Regnskapet i tabellene 6, 7 og 8 er satt opp for sementproduksjonen ved Dalen Fabrikker og for ferdig betong og mørtel utstøpt på byggeplass. Tallene for sementproduksjonen er **gjennomsnittsdata for alle typer sement** produsert i 1992. Tilvirkningen av betong er gjennomsnittstall for 1991 fra Franzefoss Bruk (Oslo) og inkluderer utvinning/produksjon av pukk og vasking/transport (49 km) av sand til produksjonssted. Transport fra betongprodusent til forbruker er basert på gjennomsnittstall fra 1989 med en kjørelengde på 55 km/bil.

Byggeplass inkluderer internttransport (pumper og kraner) og vibrering under utstøping - energiforbruket er meget lite.

For mørtel er det antatt at energiforbruk og utslipp for produksjon, transport og byggeplass er den samme som for betongproduksjon. Det er kun sementmengden som er forskjellig.

PRODUKSJONSPROSSESEMENT



Figur 5
Produksjonsprosess for fremstilling av sement

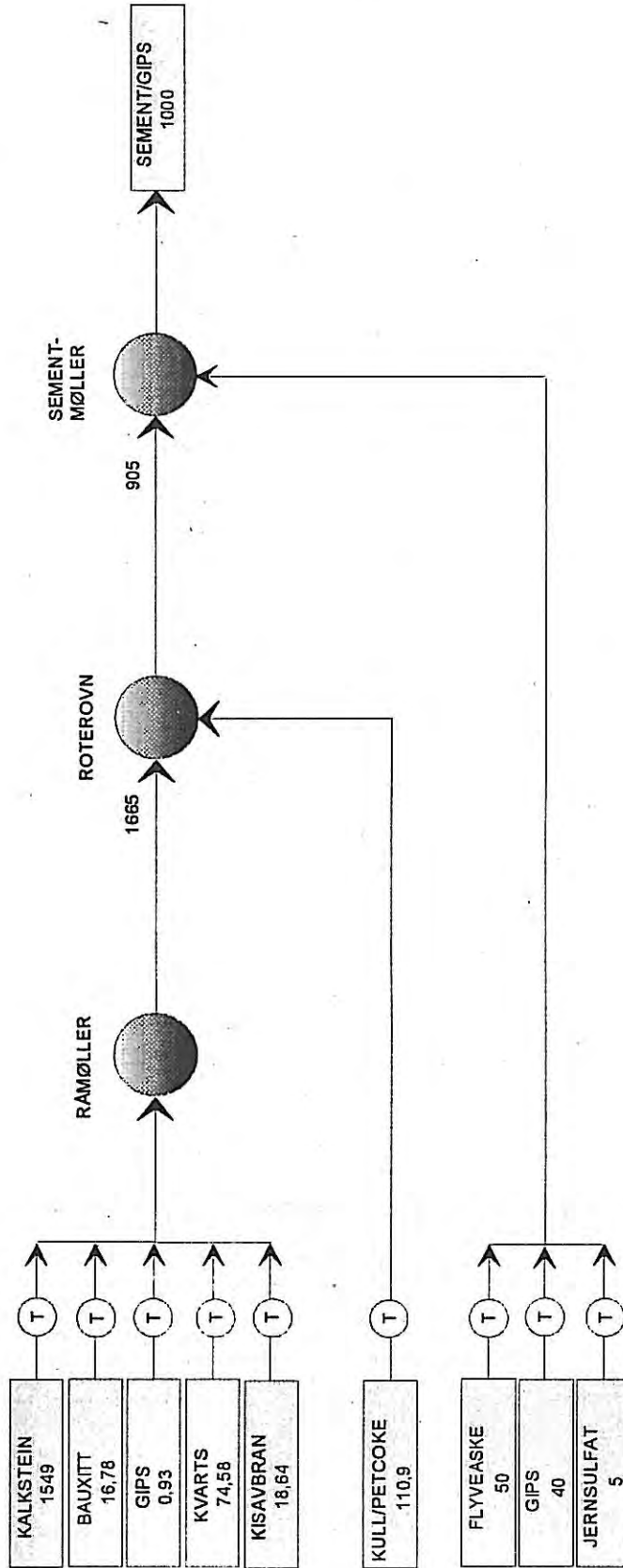
- ① Utvinning av kalkstein ved spregning i dagbrudd eller gruve
- ② Nedknusing av kalkstein
- ③ Maling av kalkstein sammen med tilsatskomponenter til et fint pulver, såkalt råmel
- ④ Homogonisering og lagring av råmelet
- ⑤ Brenning av råmel til klinker i roterovner ved temperaturer over 1400 °C

- ⑥ Lagring av klinker
 - ⑦ Maling av klinker under tilsats av gips til sement
 - ⑧ Tilsats av jernsulfat for dekkromatisering av sementene
 - ⑨ Lagring av sementene på silo og utskipping/forsendelse
- Gjennom hele prosessen er det lagt inn kontrollpunkter.

PRODUKSJON AV SEMENT MATERIALFLYTT

T Utvinning, fremstilling og transport av råmaterialer

Alle tall i kg



Figur 6
Produksjon av sement - materialflyt.

SEMENT Data fra 1993	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El	Fossilt	Totalt	CO2	SO2	NOx	Støv
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Kalkbrudd Gruve		0,00	0,00	0		0,00	
Transport	0,01	0,00	0,01	0	0,00	0,00	0,00
Kalkbrudd Dagbrudd		0,00	0,00	0		0,00	
Transport	0,03	0,02	0,05	1	0,00	0,02	0,00
Råmølle	0,15	0,02	0,17	1	0,01	0,02	0,00
Transport		0,01	0,01	1	0,00	0,01	0,00
Ovnsavdelingen	0,14	3,07	3,21	338	0,22	1,80	0,14
Kalsinering				497			
Transport		0,06	0,06	5	0,03	0,05	0,01
Sementmølle	0,21		0,21				0,01
Transport		0,07	0,07	5	0,03	0,08	0,01
Pakkeri	0,00		0,00				0,00
Transport		0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
Admin. bygg/Verksted	0,02		0,02				
Transport til bruker		0,24	0,24	18	0,00	0,00	0,00
Sum sement	0,56	3,48	4,05	867	0,29	1,98	0,17

Tabell 5

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av sement

BETONG	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El	Fossilt	Totalt	CO2	SO2	NOx	Støv
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Sement	0,07	0,44	0,51	108	0,04	0,25	0,02
Betongproduksjon	0,02	0,08	0,10	6	0,01	0,10	0,01
Transport		0,07	0,07	5	0,00	0,08	0,01
Byggeplass	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
Sum Betong	0,09	0,59	0,68	120	0,05	0,43	0,04

Tabell 6

Energiforbruk og utslipp ved betongproduksjon

MØRTEL	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO2 g/kg	SO2 g/kg	NOx g/kg	Støv g/kg
Sement	0,11	0,70	0,81	173	0,06	0,40	0,03
Mørtelproduksjon	0,02	0,08	0,10	6	0,01	0,10	0,01
Transport		0,07	0,07	5	0,00	0,08	0,01
Byggeplass	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
Sum Mørtel	0,13	0,85	0,98	185	0,07	0,58	0,05

Tabell 7

Energiforbruk og utslipp ved mørtelproduksjon

4.2 TRE

MOELVEN TREINDUSTRI GRUPPEN A/S

Skogsarealene tjener som natursystem for planter og dyr, medvirker til å ivareta det biologiske mangfold for fremtiden og tjener som rekreasjonsområde for mennesker. En del av de samme arealene betegnes produktiv skog og skal i tillegg produsere råvare til produksjon av papir, byggevarer, møbler osv [129].

Skog utgjør en av Norges naturressurser og består av både økonomisk drivverdige og ulønnsomme deler, vurdert ut fra dagens teknologi og marked.

Ressurs	Type	Størrelse	Årsproduksjon	Primærsalg	Uttømming
Vannkraft	Energi	110 TWh/år	110 TWh	Energivare	Aldri
Produktiv skog	Råvare-energi	7 Mha	10 mill m ³	Råvare	Aldri
Dyrket mark	Mat-energi	1 Mha		Matvare	Aldri
Hav	Mat-energi			Matvare	Aldri
Olje	Energi-råvare	Sum olje/gass		Energivare	2030
Gass	Energi-råvare	4,4 mrd. toe*	0,1 mrd. toe	Energivare	2050
Mineraler	Råvare			Råvare	

* tonn oljeekvivalenter

Tabell 8

Norske ressurser

Norge brukte i 1988 netto 193 TWh energi hvorav 49 % vannkraft, 38 % petroleumprodukter, 7 % koks og kull og 5 % biobrensel.

Samlet er skogsarealene beregnet å dekke 37 % av Norges landareal. Produktiv skog utgjør 23 % eller 7,3 Mha. Resterende skogarealer utgjør 4,7 Mha hvorav 3/4 ligger over barskoggrensen.

Skogsproduksjonen er en langsiktig virksomhet med en syklus på 90-100 år.

I dette århundret har målbevisst skogbrukspolitikkk medvirket til å bygge opp volumet på produktiv skog fra rundt 300 mill m³ i 1925 til nær 550 mill m³ stammevolum av gran, furu og lauvskog. Tilplanting av myrområder står for en del av tilveksten.

Skog er en dynamisk ressurs. Skogsarealet deles i fem vekstklasser hvor arealer under etablering av ny skog tilhører klasse 1 og hugstmoden skog klasse 5. Brutto tilvekst var for

1985 beregnet til 16,6 mill m³ fordelt på treslagene gran, furu og lauvtre. Med brutto tilvekst menes økning av stammevolum uten hensyn til svinn i form av vindfall, råte osv. I 1989/90 hentet skogbruket ut 10,5 mill m³ fordelt på papirmasseindustri (4,7), trelast og treindustri (5,0), plateindustri (0,2) og annet (0,5).

Siden 1970 har trelastindustrien foredlet et tømmervolum på 4-5 mill m³. Sagbrukene er plassert nær råstoffet slik at transportavstandene fra skogen og fram til sagbrukene i snitt er 45 km.

Det antas at halvparten av norskprodusert trelast benyttes til boliger inkludert vedlikehold av eksisterende boliger. Det trengs ca. 20 m³ trelast for å bygge en norsk enebolig. Det tilsvarer et råvareforbruk på ca. 50 m³ sagtømmer eller 100 trær.

Som for mange andre materialer kan levetiden til treprodukter være lang. Feil materialbruk kan imidlertid gjøre levetiden kort da tre er et biologisk nedbrytbart materiale.

Treprodukter kan gjenbrukes, gjenvinnes eller deponeres uten å forårsake store miljøbelastninger. En rekke treprodukter, avhengig av overflatebehandling, kan benyttes som biobrensel som ikke bidrar til å øke CO₂-innholdet i atmosfæren.

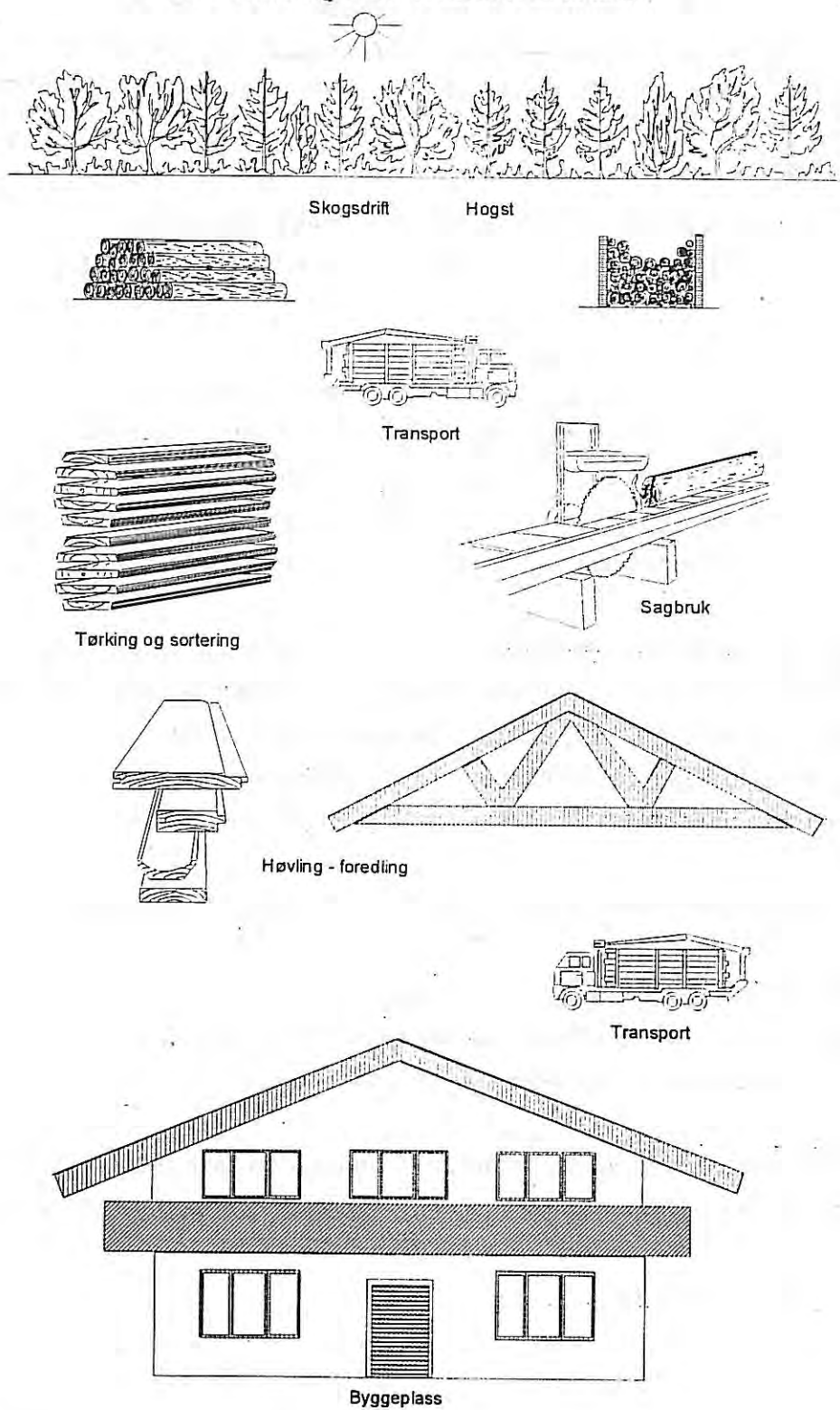
Treprodukter skiller seg fra andre produkter ved at råvaren fornyes kontinuerlig innenfor den tidshorisont som levetiden for et bygg har [36] [56] [57] [58] [83] [84] [98] [105] [117].

I denne undersøkelsen er brennverdien trukket ut for produktet trematerialer i en egen kolonne, se retningslinjer for innsamling av data under avsnitt 2.3. Ved impregnering eller en annen form for behandling av trematerialet som gjør at det ikke kan gjenbrukes/gjenvinnes eller brennes tas brennverdien med. I utgangspunktet antas det imidlertid at alt trematerialet gjenbrukes eller brennes.

I tabellen for energiforbruk og utslipp inkluderer tømmerdrift både hogst, terrengtransport og skogkultur. Brennverdien for trevirket (~ 17 % fuktighet) er satt til 7920 MJ/m³.

Transport til forbruker 200 km.

PRODUKSJON AV TREMATERIALER

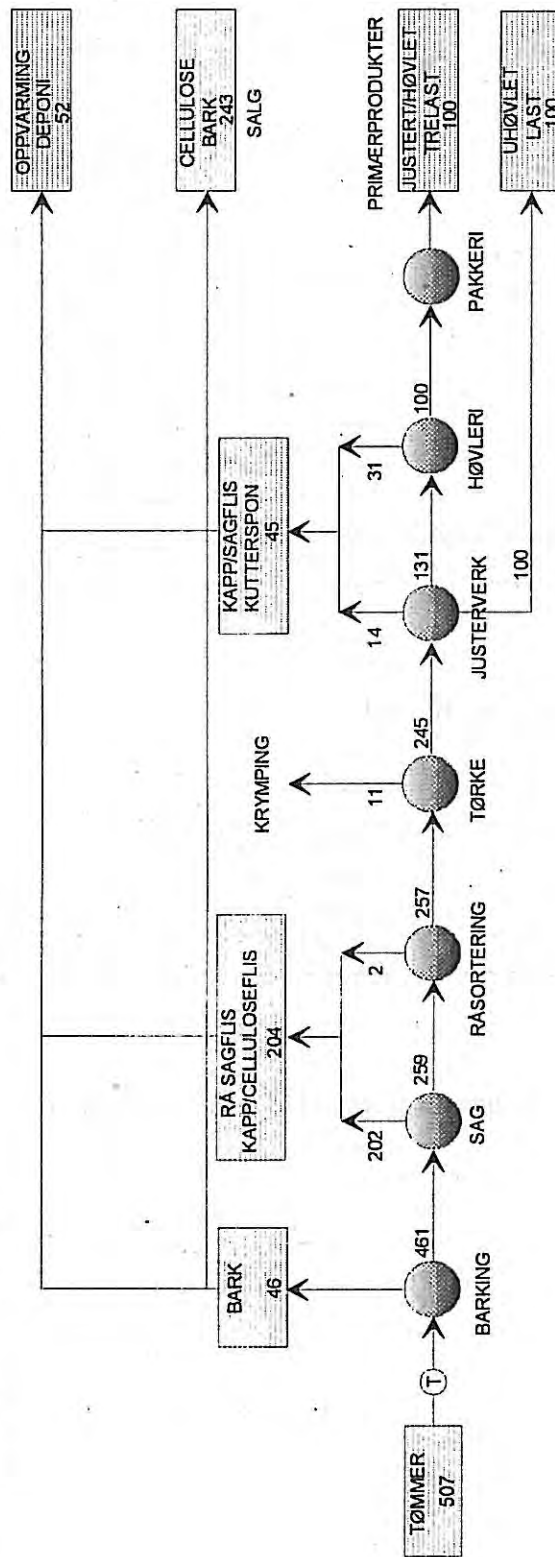


Figur 7
Produksjonsprosess for trematerialer

PRODUKSJON TRELAST MATERIALFLYT

(T) Utvinning, fremstilling og transport av råmaterialer

ALLE TALL I M3 TØMMERVOLUM



Figur 8
Produksjon av trelast - materialflyt

TRELAST Data fra 1993	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/m ³	Fossilt MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Brennv. MJ/m ³	CO ₂ g/m ³	SO ₂ g/m ³	NO _x g/m ³	Stov g/m ³
Tømmerdrift		136	136		10133	9	161	13
Transport til sagbruk		37	37		2764	2	44	4
Tømmerhåndtering	6		6					
Sortering, barking, rotred., sag	37		37					
Torking *	112	54	1199		4058	40	147	5
Justerverk	22		22					
Høvling	47		47					
Belysning	13		13					
Transport til kunde		43	43		3225	3	51	4
Byggeplass								
Totalt trelast	237	270	1540	7920	20179	54	402	26

Tabell 9a
Energiforbruk og utslipp for trelast

TRELAST	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg.	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
Totalt trelast	0,04	0,43	0,47	15,84	32,24	0,03	0,51	0,04

Tabell 9b
Energiforbruk og utslipp for trelast med tetthet 500 kg/m³

4.3 STÅL

FUNDIA NORSK JERNVERK AS (Fundia Bygg og Fundia Profiler)

Produktene fra Fundia Norsk Jernverk faller i to grupper, fra henholdsvis Fundia Bygg og Fundia Profiler.

Fundia Bygg produserer strengestøpte billets (stålemner) og armeringsstål i rette stenger. Et anlegg for produksjon av kveilet armeringsstål og valsetråd er under bygging og vil bli tatt i bruk våren 1995.

Stålproduksjonen skjer i et elektrostålverk med skrapjern som råmateriale. Skrapjernet er ca. 60 % av norsk opprinnelse, resten importeres.

Det norske skrapjernet samles inn over hele landet i regi av gjenvinningsbransjen, jernet sorteres og kappes til riktige stykkstørrelse.

Dette skjer ved bruk av sakser og hammerverk (shreddere). Skrapjernet transporteres til Stålverket i Mo med skip, jernbane og lastebil.

Skrapjernet smeltes i en vekselstrømsovn med transformator på 75 MVA i en takt på 75 tonn/time. Årsproduksjonen er ca. 500 000 tonn. Tappevekten er ca. 80 tonn. Etter smeltingen raffineres stålet i en øseovn, her justeres analyse og temperatur.

Stålet støpes ut i en 5-strengs kontinuerlig støpemaskin i dimensjonene 115, 130 og 160 mm firkant. 160 mm er standarddimensjon for internt bruk, de andre dimensjonene brukes for salgsprodukter.

Stålemnene (billets) transporteres til finvalseverket. Her settes emnene inn i en ovn som fyres med CO-gass, olje og hydrogen og varmes opp til ca 1150 °C.

De varme emnene vales til armeringsstål i dimensjonsområdet 10 - 40 mm. Dette skjer i et kontinuerlig valseverk ved bruk av inntil 18 valsepar og etterfølgende kjølesystem.

For å kunne produsere kveilet armering og valsetråd, bygges verket om til et kombinasjonsverk slik at for- og mellomverket brukes av begge produktgruppene, mens kveilet produksjon ferdigstilles i et eget sluttverk med 12 valsepar, kjølesystem og kveileanordning.

Her vil produkter i dimensjonsområdet 5,5 - 16 mm bli produsert med ringvekt ca. 1800 kg. Årsproduksjonen i dag er ca. 350 000 tonn, etter ombygging 400 000 tonn.

Korrosjonsbekyttet armering produseres ved sandblåsing og epoksybelegging. Produktene distribueres med skip eller jernbane.

Fundia Profiler produserer årlig ca. 150 000 tonn ferdigprodukter, hovedsakelig spesialprofiler til skipsbygging og symmetriske bygningsbjelker. Omkring 90 % av råmaterialbehovet dekkes ved import av grove emner, resten dekkes fra Fundia Bygg's Stålverk.

Emnene varmes opp i ovn ved bruk av CO-gass og olje. Deretter vales produktene gjennom et ett-pars forverk, to-stols duoverk og en kombinert profil-universal- og bjelkevalsestol. Rettingen skjer i kald tilstand i retteverk, mens overflatebehandlingen skjer i et slyngrense- og primeanlegg.

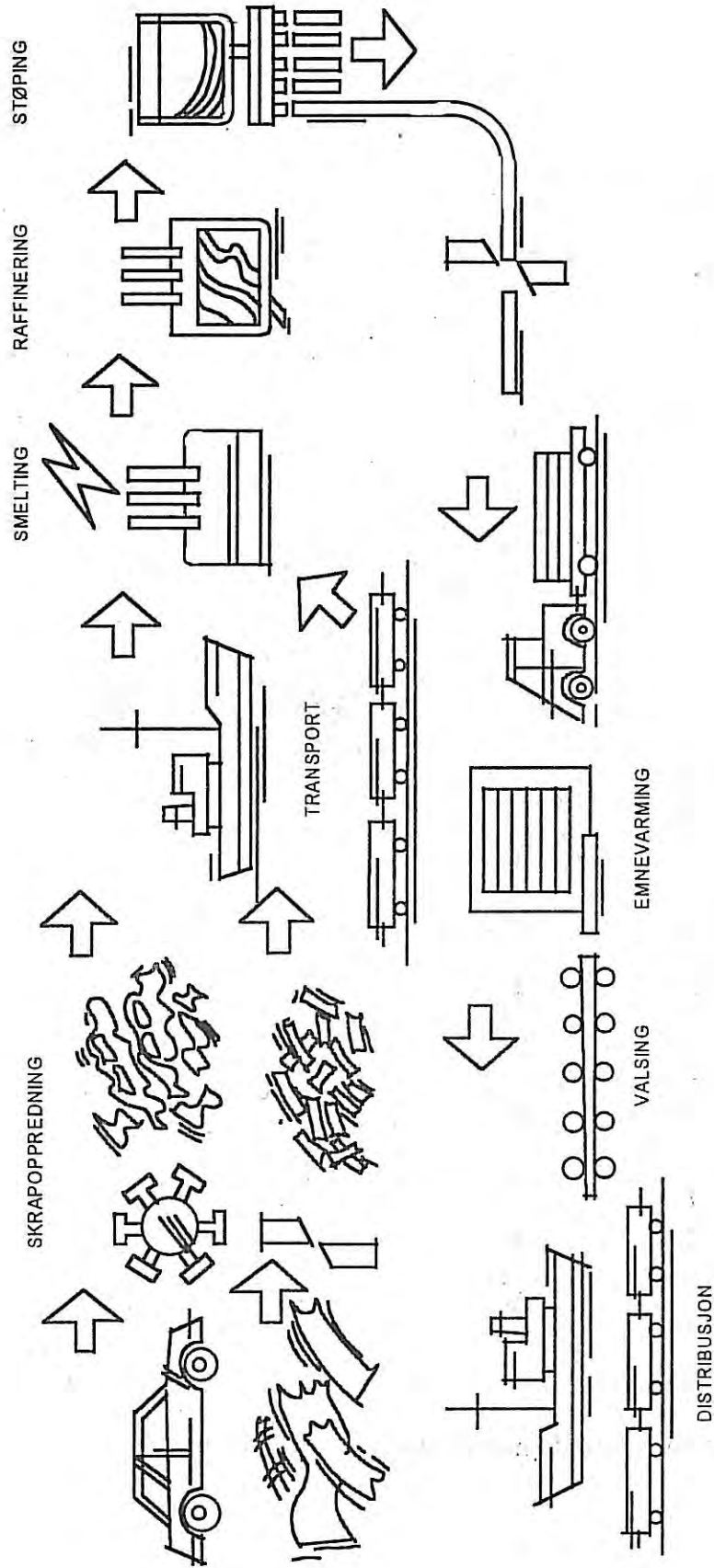
I et sveiseanlegg produseres sveiste stålbjelker i fleksibel størrelse, med opp til 3 m steghøyde.

Spesifikasjonene av energiforbruk og utslipp i tabell 12 gjelder produksjon av armeringsstål for det norske marked med basis i norsk skrapjern [18] [76] [109].

Transporten av skrapjern til produksjonssted og ferdige produkter til forbruker skjer med bil (120 km), jernbane (800km) og båt (1100 km).

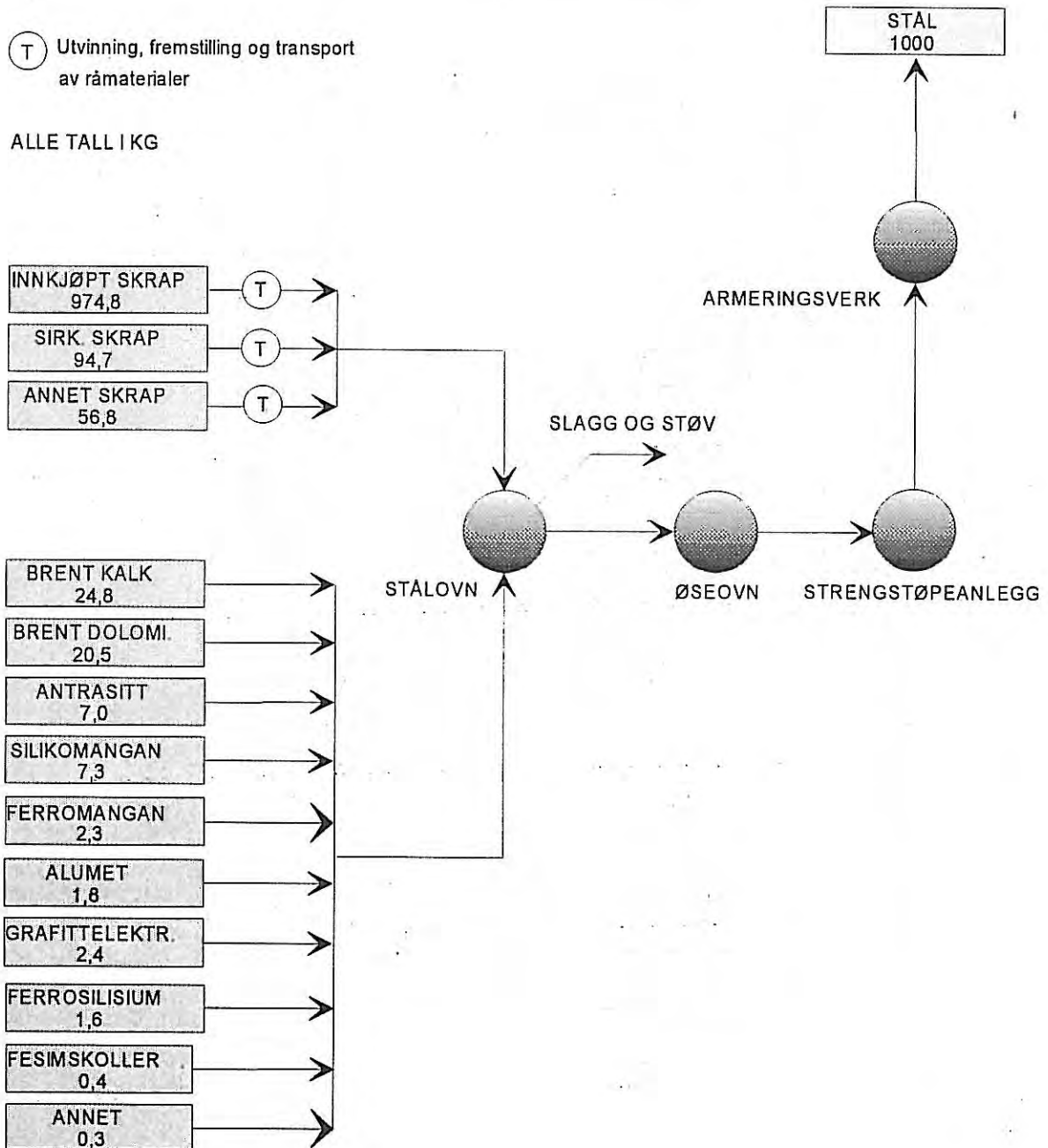
Energiforbruket på byggeplass anses å være minimalt.

PRODUKSJONSPROCESS STÅL AV SKRAP



Figur 9
Produksjonsprosess stål

PRODUKSJON AV STÅL - MATERIALFLYT



Figur 10
 Produksjon armeringsstål - materialflyt

STÅL FRA SKRAP Data fra 1992	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
Olje osv. med skrap	0,21	0,14	0,35	14	0,12	0,11	
Skrappoppredning							
Stålovn	1,69		1,69	22			0,05
Oksygen	0,11		0,11	2			
Elektrodeforbruk		0,09	0,09	9			
Tilsetninger	0,23	0,67	0,90	72	0,12	0,07	
Øseovn	0,11		0,11				
Støpemaskin	0,18		0,18				
Emneovn		1,00	1,00	80	0,29	0,10	
Valseverk	0,27		0,27				
Generelt	0,25		0,25				
Transport til verk	0,04	0,58	0,62	45	0,22	0,64	0,05
Transport til forbruker	0,03	0,57	0,60	44	0,23	0,63	0,04
Sum stål	3,11	3,06	6,17	289	0,98	1,56	0,14

Tabell 10

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av armeringsstål fra skrap

Tilvirkning av stålplater er stort sett malmbasert produksjon[76].

MALMBASET STÅLPRODUKSJON Data fra 1993	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
Kaldvalset glødet plate	1,66	10,58	12,24	1069	3,00	1,00	1,00
Alusinkbelagt plate	2,06	10,49	12,55	1082	3,00	1,00	1,00
Varmforsinket plate	2,08	9,48	11,56	1091	3,00	2,00	2,00
Farvebelagt plate	2,11	9,20	11,31	1046	3,00	1,00	1,00

Tabell 11

Energiforbruk og utslipp fra malmbasert stålproduksjon (kun prosessenergi)

I fremstillingen av malmbasert stålplate inngår masovn, stålverk, varmvalsing, kalkverk, koksverk, sinterverk, betejening og overflatebehandling (gløding, overflatebelegging).

4.4 ALUMINIUM

HYDRO ALUMINIUM A/S

Råstoffet til aluminiumsproduksjon er aluminiumoksid (Al_2O_3), et hvitt pulver som fremstilles fra bauxitt. De viktigste bauxittforekomstene finnes i et bredt belte rundt ekvator. Aluminium utgjør hele 8 % av jordskorpen, og råstofftilgangen er tilnærmet ubegrenset.

I oksidverk - også kalt aluminaverk - blir bauxitten foredlet til aluminiumoksid (alumina). I en lutopløsning frigjøres aluminiumoksid fra de andre stoffene i bauxitten og filtreres for å fjerne uoppløste bestanddeler, hvoretter oksidet felles ut fra luten og tørkes.

Produksjonen av aluminium finner sted i metallverk der aluminium frigjøres fra aluminiumoksid ved hjelp av elektrolyse. Denne prosessen foregår i elektrolyseceller der bunnen er laget av kull (karbon) og fungerer som katode. Anoden, som også er laget av kull, forbrukes under prosessen når kullet reagerer med oksygen fra aluminiumoksidet. I flytende form tappes aluminium fra cellene og støpes til pressbolt, valseblokk eller barrer. I pressverk blir aluminium pressbolt ekstrudert til profiler. Pressboltene kappes og forvarmes før ekstrudering til profiler. Deretter avkjøles og herdes profilene før eventuell overflatebehandling.

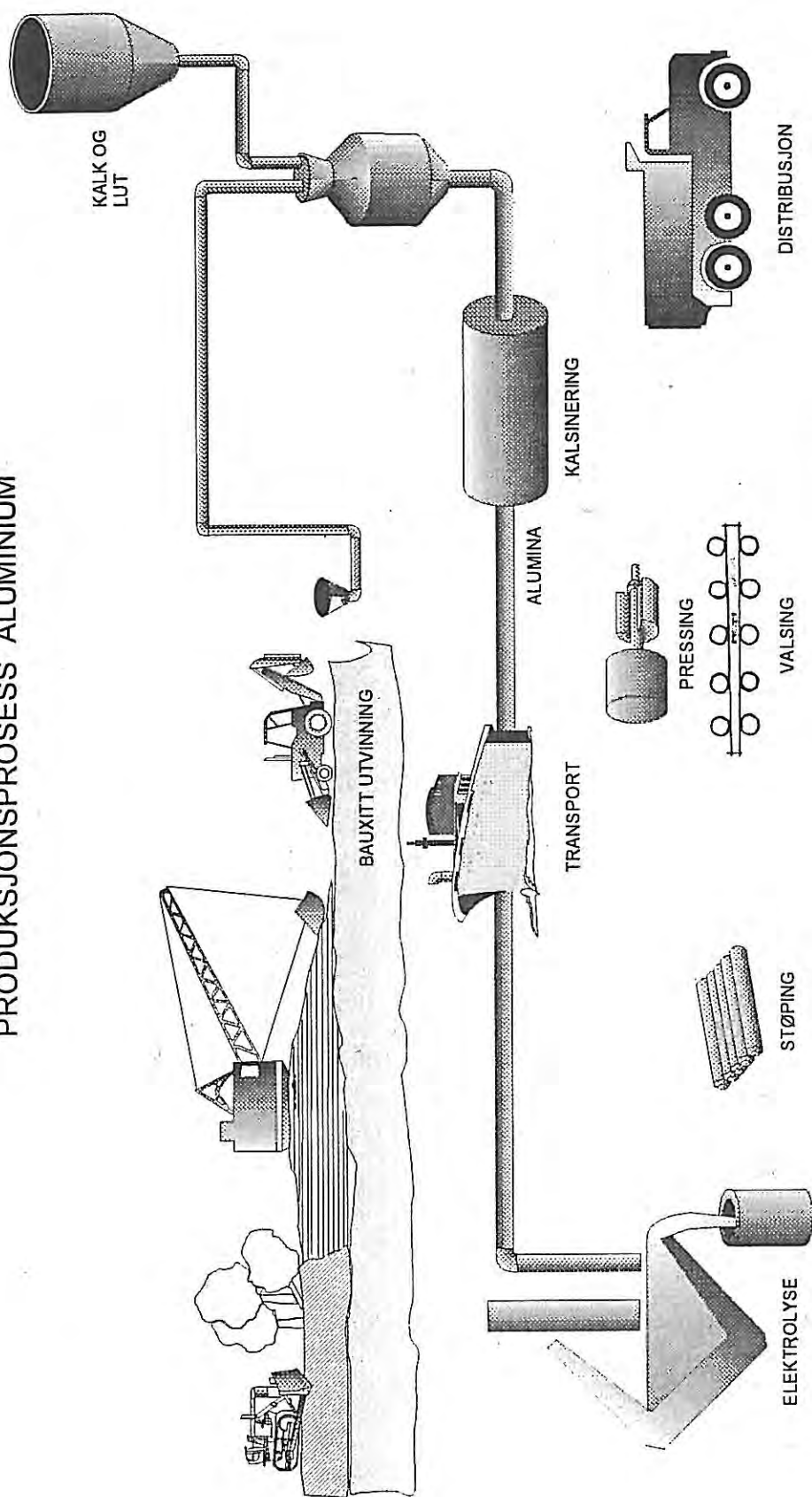
I valseverk varmes aluminiumblokker og vales i bånd i 2 - 6 mm tykkelse (varmvalsing). Aluminiumbånd kan også støpes direkte fra flytende metall i 6 mm tykkelse (båndstøping). Båndene avkjøles og vales til den endelige brukstykkelsen (kaldvalsing), og varmebehandles. Også valsede produkter kan overflatebehandles.

I bygningsindustrien brukes ekstruderte og valsede aluminiumsprodukter. I dette bruksområdet velges aluminium først og fremst på grunn av kombinasjonen letthet, styrke og utseende samt metallets høye korrosjonsbestandighet.

Aluminium i bygg er et "relativt" nytt materiale som vil bli resirkulert. I europeisk sammenheng regner en med at 80 prosent av aluminium som brukes i bygg blir resirkulert. Tallene i dette kapitlet er delvis hentet fra europeisk aluminiumindustri (EAA) og delvis fra Hydro Aluminium. Indirekte energi, produksjon og transport av hjelpestoffer er ikke inkludert.

Transporten av aluminium er basert på 50 % med bil (240 km) og 50 % med båt (500 km) og representerer typiske transportavstander i Norge [20] [22] [28] [47] [100].

PRODUKSJONSPROSSESS ALUMINIUM

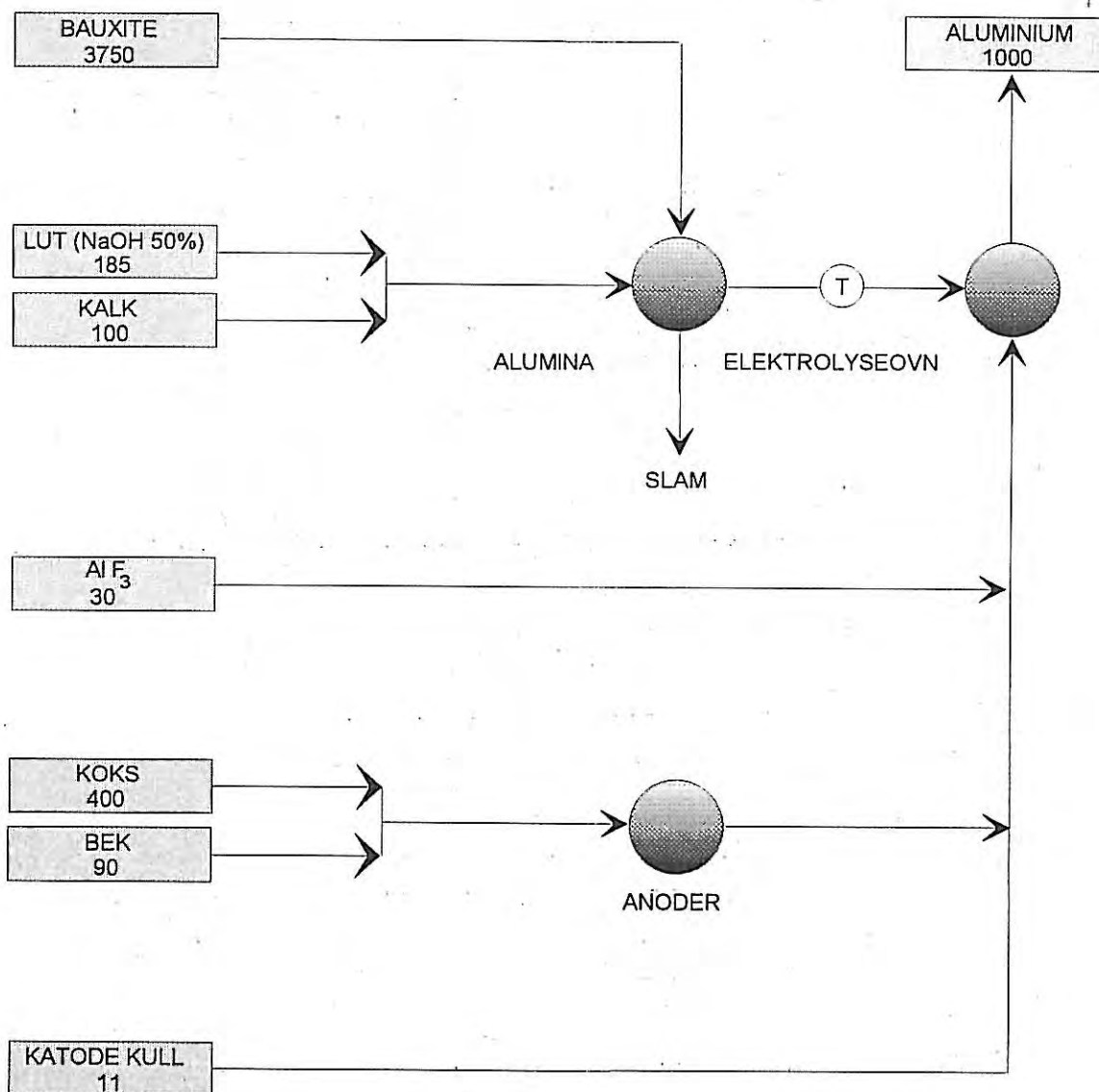


Figur 11
Produksjonsprosess for aluminium

PRODUKSJON ALUMINIUM MATERIALFLYT

(T) Transport

ALLE TALL I KG



Figur 12

Produksjon av aluminium - materialflyt

ALUMINIUM FRA BAUXITT	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Data fra 1992							
Valsede produkter							
Utvinning Baux.+ Alunima prod.	1,8	21,4	23,2	1550	17,0	4,0	13,0
Smelteverk	58,7	18,7	77,4	1830	3,5	0,2	2,4
Alumina transport		2,0	2,0	150	1,0	2,2	0,2
Valsing	3,6		3,6		0,0	0,0	0,0
Transport		0,4	0,4	27	0,1	0,4	
Sum valsede produkter	64,1	42,4	106,5	3557	21,6	6,8	15,6

Tabell 12a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av valset aluminium fra bauxitt

ALUMINIUM FRA BAUXITT	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Data fra 1992							
Ekstruderte produkter							
Utvinning Baux.+ Alunima prod.	1,8	21,4	23,2	1550	17,0	4,0	13,0
Smelteverk	58,7	18,7	77,4	1830	3,5	0,2	2,4
Alumina transport		2,0	2,0	150	1,0	2,2	0,2
Ekstrudering	4,0		4,0		0,0	0,0	
Transport		0,4	0,4	27	0,1	0,4	
Sum ekstruderte produkter	64,5	42,4	106,9	3557	21,6	6,8	15,6

Tabell 12b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av ekstrudert aluminium fra bauxitt

ALUMINIUM RESIRKULERT	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	Data fra 1992						
Valsede produkter	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Omsmelting		4,0	4,0	260			
Valsing	3,6		3,6				
Transport		0,4	0,4	27	0,1	0,4	
Sum valsede produkter	3,6	4,4	8,0	287	0,1	0,4	

Tabell 12c

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av valset aluminium ved omsmelting

ALUMINIUM RESIRKULERT	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	Data fra 1992						
Ekstruderte produkter	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Omsmelting		4,0	4,0	260			
Ekstrudering	4,0		4,0				
Transport		0,4	0,4	27	0,1	0,4	
Sum ekstruderte produkter	4,0	4,4	8,3	287	0,1	0,4	

Tabell 12d

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av ekstrudert aluminium ved omsmelting

4.5 ISOLASJONSMATERIALER

4.5.1 GLASSULL

GLAVA A/S

Glava produserer glassull ved fabrikker i Askim og Stjørdal og har NS-ISO-9001 sertifikat fra NCS (Norwegian Certification System).

Glava er Norges mest brukte isolasjon for isolering av bygninger. Produktenes gode varme- og lydisolerende egenskaper oppnås ved at luft holdes i ro mellom fibrene. Grunnet spesiell gunstig fiberstruktur og fiberorientering har produkter med lav romvekt en høy varme- og lydmodstand i konstruksjoner. Produktene leveres både som matter og plater. Ved bruk av matter oppnås færre skjøter og hurtigere montering. Glassullproduktene er ubrennbare og bidrar til å øke brannmodstanden. Produktene er impregnerte og vannavstøtende.

På grunn av fleksibilitet og spenst i begge retninger fyller produktene de hulrom som skal isoleres og beholder tykkelse og formstabilitet. De gode mekaniske egenskapene gjør det mulig å komprimere produktene ned til 1/3 av sitt nominelle volum. Dette reduserer kostnadene til transport, lagerhold og håndtering. Når emballasjen fjernes, gjenvinner produktene sin nominelle tykkelse.

Glassullprodukter inneholder fra 95 - 99 volumprosent luft, fra 1-5 volumprosent uorganiske fibre og fra 0 - 1 volumprosent organisk materiale. Produktene er underlagt en frivillig kvalitetskontrollordning: VIF-kontrollen. Den omfatter produktkontroll av varmekonduktivitet, tykkelse og romvekt.

I tillegg til bygningsisolasjon produseres glassullprodukter for akustisk regulering og isolering av tekniske installasjoner. Produktene kan påføres ulike typer belegg.

Produksjon

Hovedråstoffene sand, soda, dolomitt og boraks blandes i riktig forhold og smeltes ved ca. 1400 °C. Ved ca. 1000 °C spinnes glasset til lange tråder, varm luft med høy hastighet trekker så trådene til tynne fibre. Gjennomsnittlig fiberdiameter er ca. 5 µm (0,005 mm). Bindemiddel og støvdempningsolje sprøytes på før uherdet, hvit glassull samles på et transportbånd. Isolasjonens tykkelse og tetthet bestemmes av båndets hastighet. Glassullen transporteres så gjennom herdeovn hvor bindemiddelet herder ved ca. 250 °C og binder

fibrene sammen til en stabil matte. Det er herdeprosessen som gir isolasjonens dens karakteristiske gulfarge.

Etter herding blir matten kappet til mindre matter og plater i ønsket lengde og bredde. På enden av produksjonslinjen komprimeres isolasjonen og pakkes automatisk i tette plastsekker.

Når isolasjonen kappes til ønsket lengde og bredde, vil det alltid bli noe svinn. For å minimere avfallsmengden føres en del av kantavskjæret tilbake til produksjonen og benyttes på nytt. Det arbeides med å kunne utnytte alt avfallet. Glava er i ferd med å bli en stor forbruker av resirkulert glass i Norge. Det er utviklet nye resepter slik at alle egenproduserte glassullprodukter inneholder resirkulert glass (kasserte glassflasker, vindusglass osv.) Gjenbruk av glass på denne måten er viktig både for miljøet og samfunnet. Dessuten gir innblanding av resirkulert glass en viss reduksjon av energibehovet ved smelteprosessen. Innholdet av resirkulert glass er for tiden basert på 30 %, men vil på sikt kunne økes betydelig.

Energiforbruket ved fremstilling av bindemiddel utgjør i følge [19] $14,4 \text{ MJ/m}^3$ ($0,82 \text{ MJ/kg}$) ferdig produkt. Utslippene fra denne produksjonen er antatt å være som for diesel [35] [73] [107] [111] [130] [131]. I tabell 13 a inngår i utvinning av sand, soda, dolomitt, boraks, returglass og transport til fabrikk samt forproduksjon. Utslippene fra transport er beregnet etter 50 % med båt og 50 % med bil.

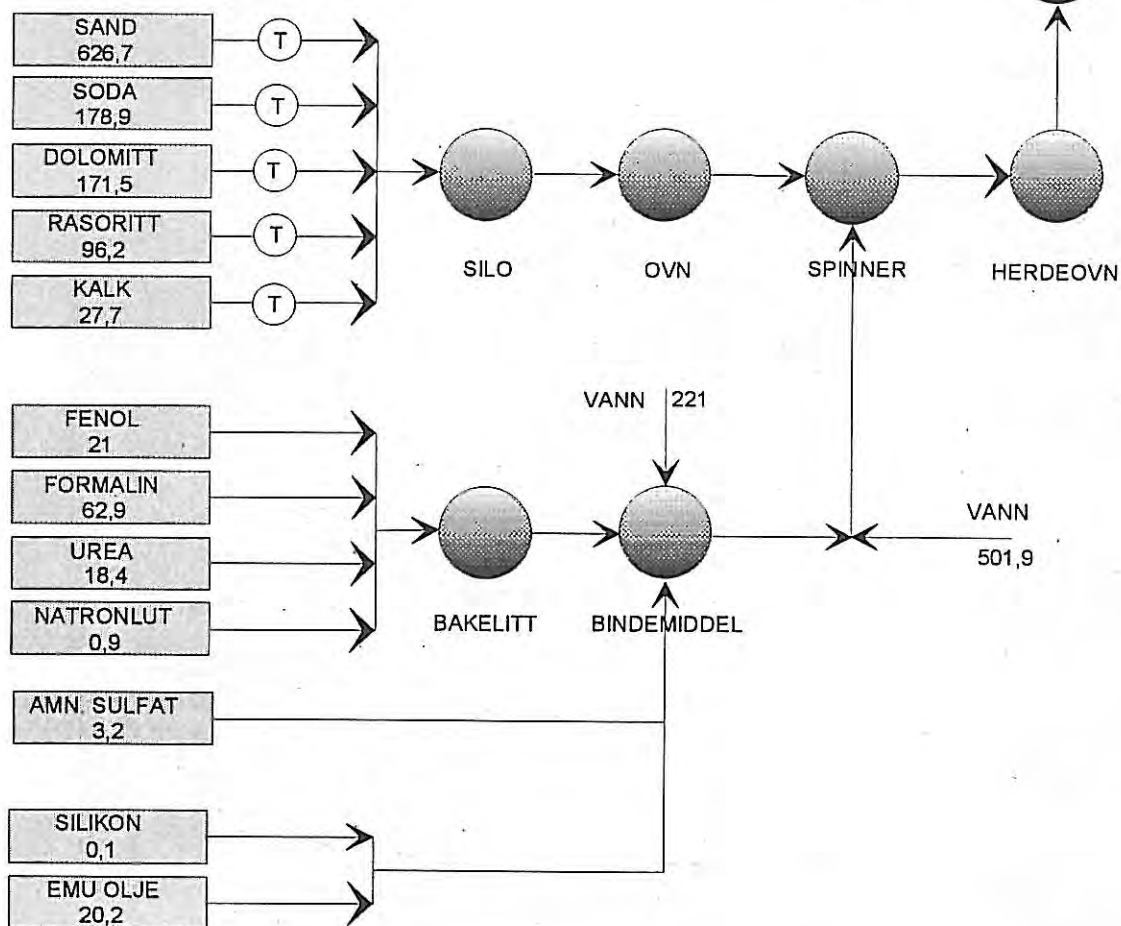
Transport til forbruker er 300 km.

PRODUKSJON GLAVA

MATERIALFLYT

(T) Utvinning, fremstilling og transport av råmaterialer

ALLE TALL I KG



AVFALL/UTSLIPP/FORBRUK PR. 1000 KG MINERALULL

FAST AVFALL

VATT AVFALL	27,8
TØRT AVFALL	47,1
KONFEKSJON	11,1
TIL DEPONI	81,0

UTSLIPP TIL LUFT

VANNDAMP	3021,47
----------	---------

FORBRUK AV VANN

GLASRENNER	1263
PROSESS	1737
ANNET	1377
TOTALT	4377

Figur 14

Produksjon av mineralull - materialflyt

GLAVA MINERALULL Data fra 1993	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/m ³	Fossilt MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	CO ₂ g/m ³	SO ₂ g/m ³	NO _x g/m ³	Støv g/m ³
Utvinning råvarer, transport		68,3	68,3	5123	18,6	78,0	6,5
Produksjon	125,8	107,3	233,1	7249	1,8	36,0	2,6
Bindemiddel	0,0	14,4	14,4	1069	0,9	17,0	1,4
Oppvarming	0,0	13,7	13,7	1022	0,9	16,2	1,3
Transport til forbruker	0,0	11,6	11,6	865	0,8	13,7	1,1
Totalt	125,8	215,3	341,1	15327	23,0	161,0	12,8

Tabell 13a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av mineralull

GLAVA MINERALULL	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Totalt	7,2	12,3	19,5	876	1,3	9,2	0,7

Tabell 13b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av mineralull med tetthet 17,5 kg/m³

4.5.2 STEINULL

A/S ROCKWOOL

Rockwool mineralull, steinull, er et produkt som har en allsidig bruk innenfor bygningsindustrien. Produktet inneholder fra 90 - 99 volumprosent luft, fra 1 - 10 volumprosent uorganiske fibre, fra 0 - 1 volumprosent organisk materiale i form av en herdeplast (Bakelitt) samt fra 0 - 0,1 volumprosent impregneringsolje (høyraffinert mineralolje).

Produktets gode varmeisolerende egenskaper oppnås ved at luften holdes i ro i de mange små hulrommene som dannes mellom fibrene. Samtidig absorberes lyd og støy effektivt i den åpne strukturen, slik at produktet har lyddempende egenskaper.

Steinullfibreneres smeltepunkt, (over 1100 ° C), gjør at produktene kan brukes ved høye temperaturer. Impregneringsoljen og produktets mikrostruktur gjør at produktet er vannavvisende og ikke kapillærsugende. Vann/fuktighet kan bare komme inn i produktene i form av vanndamp som kondenseres, eller som vann under høyt trykk.

Fibre orientert i alle retninger gir produktene gode utfyllende egenskaper i hulrom.

De lette produktene omtales oftest som Rockwool A-isolasjon. De benyttes hovedsakelig til vanlig bygningsisolasjon. Steinullproduktenes gode egenskaper, som brann- og lydisolasjon, samt at produktene er fuktavvisende, gjør at de er anvendelige til mange andre bruksområder. Rockwool har produkter til bruk som rørisolasjon, brannisolasjon av stålkonstruksjoner, himlinger for akustisk demping m.m.

Produkter med høy tetthet tåler store trykkbelastninger og kan brukes bl.a. som markisolasjon, til utvendig isolasjon av flate tak, og til utvendig fasadeisolasjon.

De unike egenskapene til å stå imot brann gjør at steinullprodukter benyttes i en rekke konstruksjoner der det stilles spesifikke brannkrav.

Produksjonsprosessen

Råmaterialene, diabas, kalkstein og energibærende koks, kommer med bil fra mellomlager eller direkte fra leverandør og fordeles i respektive siloer. Herfra føres materialene ut på et veiebånd, der den aktuelle chargen blir utveiet, og transporteres videre til smelteovnene. I denne varmes materialene ved hjelp av koks og varm luft opp til ca. 1600 °C.

Fra smelteovnen (kupolovnen) renner smelten ned på en spinnemaskin der materialene omdannes til tynne fibre ved at massen slynges ut fra hurtig roterende hjul. Fibrene samles og styres ved hjelp av luft, og samtidig tilføres bindemiddel, en ureamodifisert fenolharpiks (Bakelitt) og impregneringsolje, som sammen gjør det ferdige produktet formstabil,

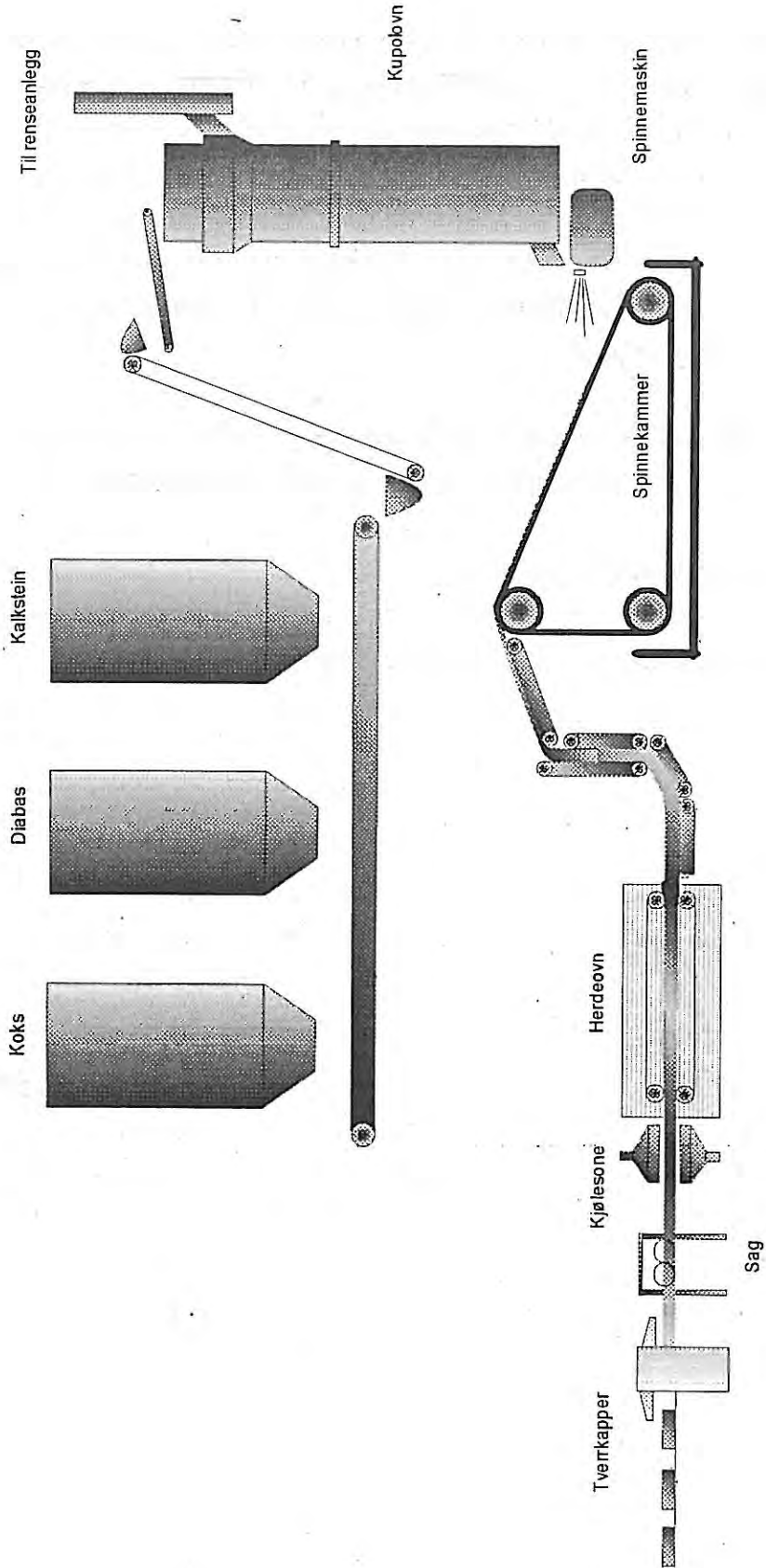
vannavvisende og gir en støvrensende effekt. Fibrene samles opp på et perforert transportbånd, videre til en tynn materialbane og et varierende antall sjikt legges på hverandre avhengig av hvilket produkt en ønsker å produsere. Herfra går produktet til en herdeovn hvor den ønskede produkttykkelse innstilles og antall primærsjikt avgjør hvilken tetthet en får. I herdeovnen blåses varm luft gjennom produktet og bindemiddelet herdes og blir til en uløselig plast. Mineralullen kjøles deretter ned til romtemperatur ved å suge kald luft gjennom produktet. Herfra konfeksjoneres produktet til ønskede dimensjoner og eventuell pålegging av papir.

Energiforbruket ved fremstilling av bindemiddel utgjør i følge [19] 0,5 MJ/kg ferdig produkt. Utslippene fra denne produksjonen er antatt å være som for diesel [29] [99].

Transport til forbruker 300 km.

Energiforbruk på byggeplass er vurdert til å være neglisjerbart.

PRODUKSJONSPROCESS ROCKWOOL MINERALULL

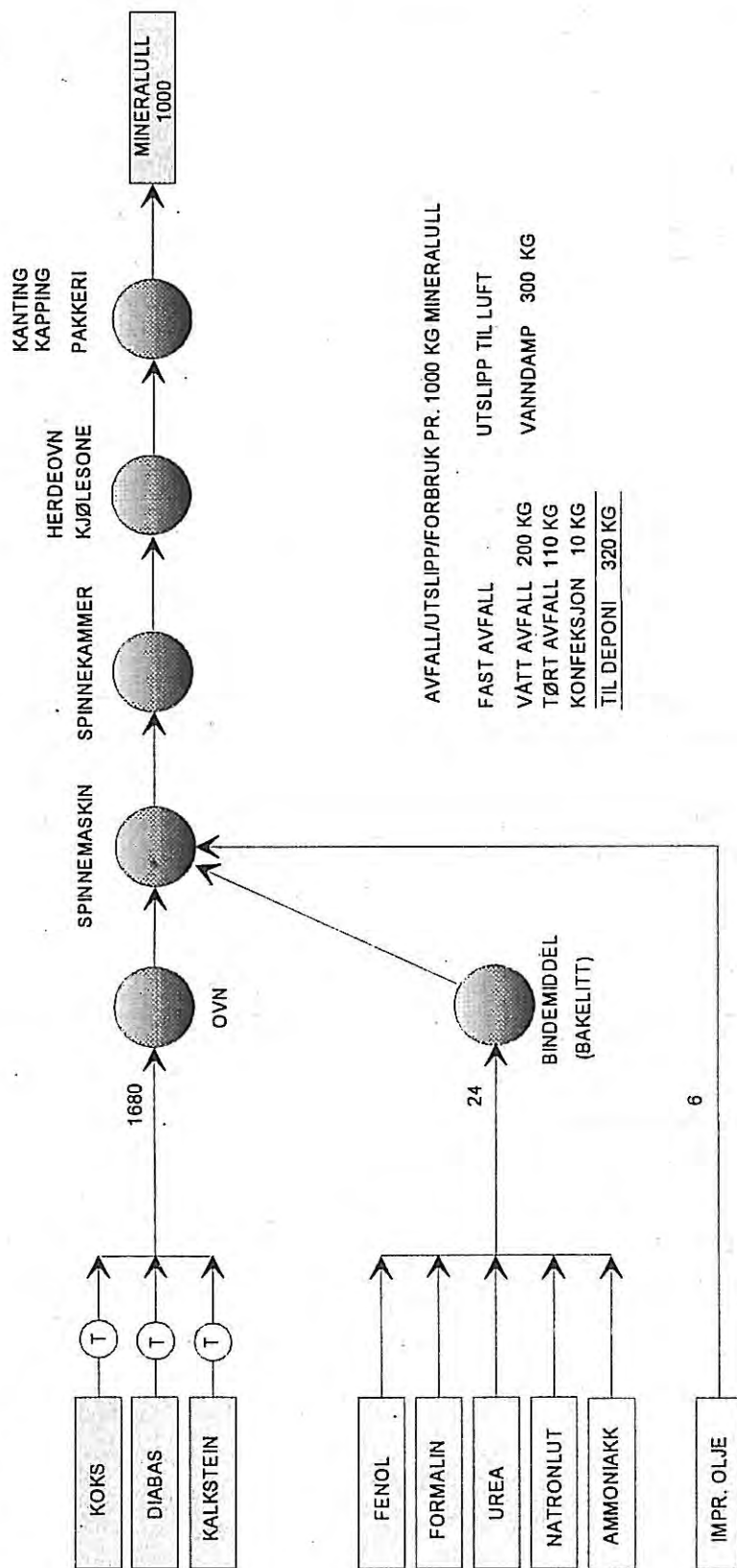


Figur 15
Produksjonsprosess for mineralull

PRODUKSJON ROCKWOOL MATERIALFLYT

T Utvinning, fremstilling og transport av råmaterialer

ALLE TALL I KG



Figur 16

Produksjon av mineralull - materialflyt

ROCKWOOL MINERALULL ENERGIFORBRUK Data fra 1993	UTSLIPP TIL LUFT						
	El MJ/m ³	Fossilt MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	CO ₂ g/m ³	SO ₂ g/m ³	NO _x g/m ³	Støv g/m ³
Råvareutvinning		39	39	20492	71	12	35
Intern transport		1	1				
Råvareanlegg		1	1				
Smelteanlegg	6	193	199				
Bindemiddel		15	15	1112	1	18	1
Spinnkammer	6		6				
Herdeovn	6	36	42				
Kjølesone	3		3				
Linjedrift	3		3				
Transportbånd, pakkeri	1		1				
Støvavsug	3		3				
Kompressorer	3		3				
Avfallstransport		1	1				
Diverse	3		3				
Transport til forbruker		22	22	1610	1	26	2
Totalt	33	307	340	23214	74	55	39

Tabell 14a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av mineralull.

ROCKWOOL MINERALULL	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Totalt	1,1	10,2	11,3	774	2,5	1,8	1,3

Tabell 14b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av mineralull med tetthet 30 kg/m³

4.5.3 CELLULOSEFIBER

NORSK CELLULOSEISOLASJON A/S

Celluloseisolasjon blir i hovedsak fremstilt av returpapir tilsatt brannhemmende kjemikaler. Forskjellige produsenter tilsetter forskjellige typer kjemikaler og med varierende prosentandel. ISOFIBER-celluloseisolasjon fremstilles av 80 % avispapir, 10 % boraks og 10 % borsyre. Mineralsaltene boraks og borsyre gjør materialet brannhemmende og selvslukkende. I tillegg gir tilsetningene nødvendig beskyttelse mot sopp, råte og mikroorganismevekst i det organiske avispapiret. ISOFIBER leveres kun som løssull og må blåses inn i konstruksjonene med spesialmaskin. Forbruket av isolasjon varierer etter konstruksjonstype fra 35 - 68 kg/m³. Denne variasjonen mellom løssblåst isolasjon er nødvendig pga. sammensynking.

ISOFIBER-celluloseisolasjon blir brukt både som etterisolering og i nye hus. Utførelsen av isolasjonsarbeidet er forskjellig. Det blir benyttet både innblåsing, jiggblåsing og løssblåsing, samt at en har løssull beregnet for selvlegging uten bruk av blåsemaskin.

ISOFIBER er ikke brannklassifisert da test ikke kan utføres pga. at eksisterende prøvemeter og standarder ikke omfatter løssull-materialer.

Det er både B-30 og B-60 godkjenning på etasjeskillere med hhv. ett og to lag gips på eksponert side. Det er også B-30 godkjenning på ikke bærende vegg.

Brannforskriftene utelukker bruk av ISOFIBER-celluloseisolasjon i større bygg, slik at bruksområdet for det meste blir småhus.

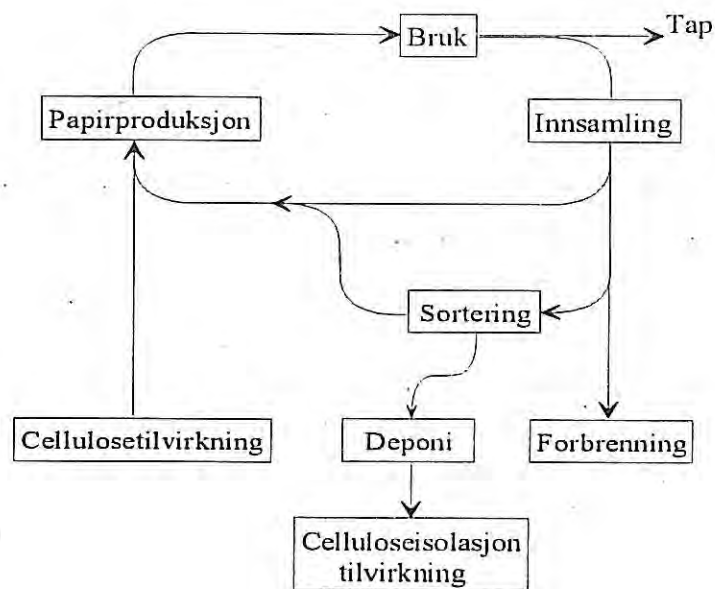
Forbruk av ISOFIBER varierer med konstruksjon:

Løssblåst på loft	35-40 kg/m ³
Bjelkelag/skrå himling	55-60 "
0-10 cm vegg	60-65 "
10-20 cm vegg	65-70 "

Isolasjonsmetoden gir ingen kapp og svinn.

ISOFIBER-celluloseisolasjon er klassifisert i klasse 42 og produktet er underlagt kontroll av VIF-kontrollen.

Tilvirkningen av cellulosefiber er direkte koblet til gjenbruk av overskuddspapir fra innsamling, og bør derfor ikke ses i sammenheng med avvirkning av skogfremstilling av cellulose og papir. Sammenhengen er illustrert ved følgende figur.



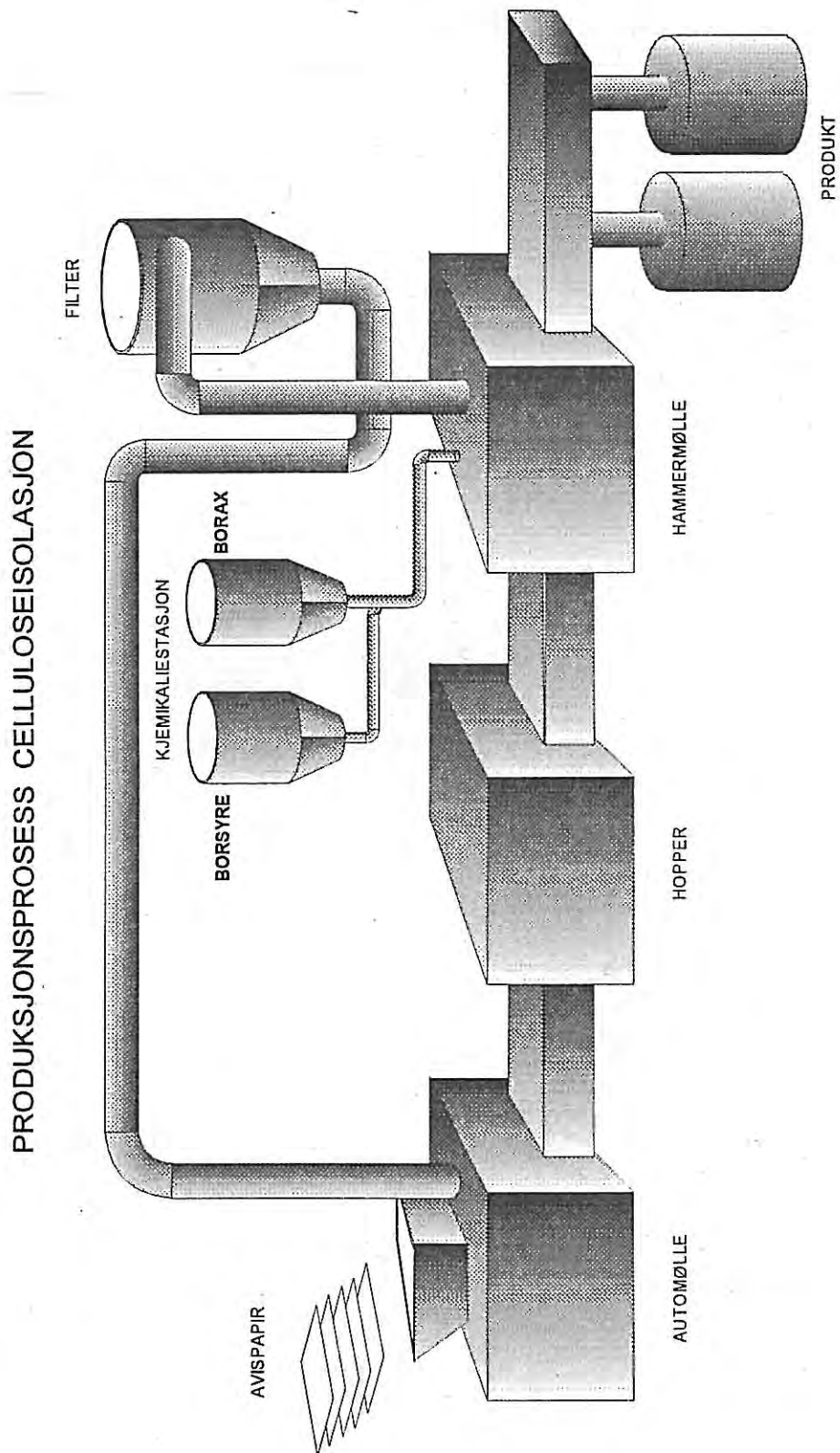
Figur 17
Resirkulering av papir

ISOFIBER fremstilles i et amerikanskprodusert anlegg som er spesiallaget for formålet. Prosessen foregår ved at man mater inn passende baller av papir på et matebord, papiret blir først slått til flak på størrelse med kronestykker i automøllen, dvs. første oppmalingsstasjon, og fortsetter så videre til blande/matestasjon for til sist å bli finmalt i hammermøllen der også mineralsaltene blir blandet inn i papiret. Deretter går produktet videre til sekkefyller. ISOFIBER - celluloseisolasjon fremstilles uten bruk av prosessvann eller annen væske. Energien som brukes er elektrisk kraft, og prosessen tilfører ikke luften verken gasser eller støv. Anlegget har en kapasitet på 2 tonn/h og kjøres normalt av to personer.

I dag kjøpes det meste av papiret fra Bergens Tidende og er i hovedsak produksjonsfeil fra rotasjonspressen. I dag brukes små mengder papir fra distriktet, men dette forventes å øke når organisert innsamling og tilfredsstillende kvalitet foreligger. Avispapiret ses på som en fri ressurs og har ingen medarvede belastninger.

Boraks og borsyre kommer fra leverandører i Fredrikstad og Gøteborg. Opprinnelsen er delvis USA, Sør-Amerika og Frankrike. Oversjøisk transport skjer med skip, mens transport fra leverandører foregår med trailer. Transport til forbruker 600km [48].

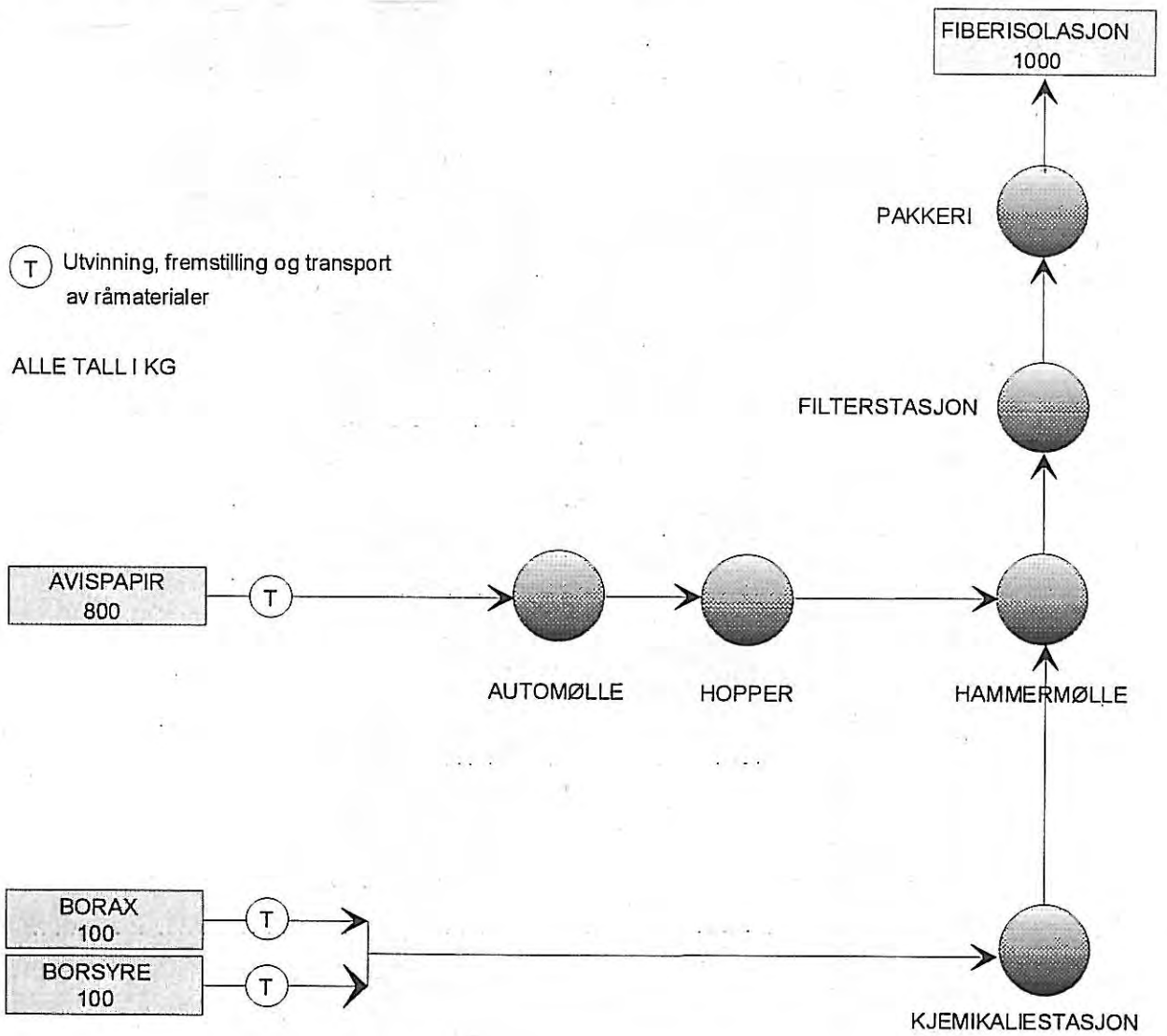
Data for utvinning av boraks og borsyre er basert på tall fra [119] SIS Miljømerkning. Disse er 0,014 kWh El og 4,38 MJ fossilt brensel for 3,12 kg celluloseisolasjon. Utslippene er beregnet som om det fossile brensel var diesel. Brennverdien inngår i sluttproduktet som følge av tilsetning av brannhemmende kjemikalier (boraks og borsyre). Dette er i overensstemmelse med anbefalingen i kriteriedokumentet for nordisk miljømerking (Svanemerket) [119] av løsisolering. Kan en påvise at materialet gjenvinnes/gjenbrukes tas brennverdien ikke med.



Figur 18
Produksjonsprosess ved fremstilling av celluloseisolasjon

PRODUKSJON CELLULOSEISOLASJON

MATERIALFLYT



Figur 19
 Produksjon av celluloseisolasjon - materialflyt

CELLULOSEISOLASJON Data fra 1990	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/m ³	Fossilt MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Brennv. MJ/m ³	CO ₂ g/m ³	SO ₂ g/m ³	NO _x g/m ³	Støv g/m ³
Utvinning Borax, Borsyre	1	91	92		6780	6	107	8
Transport mineralsalter i Norge		12	12		862	1	14	1
Transport avisepapir i Norge		13	13		1000	1	16	1
Produksjon	28		28					
Transport til forbruker		29	29		2155	2	34	3
Byggeplass	4		4					
Totalt *	32	145	1276	1099	10798	10	171	14

* Totalenergiforbruket inneholder brennverdien til sluttproduktet.

Tabell 15a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av celluloseisolasjon

CELLULOSEISOLASJON	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Totalt *	0,5	2,2	19,6	16,9	166	0,2	2,6	0,2

* Totalenergiforbruket inneholder brennverdien til sluttproduktet.

Tabell 15b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av celluloseisolasjon med tetthet 65 kg/m³

4.5.4 POLYURETAN

PLASTINDUSTRIFORBUNDET

Plastindustriforbundet Stivt-PUR-skum gruppe består av følgende bedrifter: Finsam Industries, Fresvik Produkt, Inotan, Multielement, Porolon og Ticon Isolering.

Bedriftene benytter polyuretanskum som isolasjonsmateriale i sandwichelementer (Fresvik Produkt, Multielement, Ticon), kjølekontainere (Finsam Industries) og som rene isolasjonsprodukter (Inotan, Porolon). Utenfor denne gruppen fins det ytterligere en bedrift av betydning, Norsk Leca, som benytter PUR som isolasjon i Leca Isoblokk.

Råvarene som benyttes i norsk produksjon kommer fra de store internasjonale kjemikonsernene, som f.eks. Bayer, BASF, ICI, Dow og Shell. Det foregår ingen produksjon av råvarer i Norge. Frakten til Norge skjer på tankbil eller fat, men frakt med container- eller tankskip forekommer også. Råvarene er polyol, isocyanat (MDI), drivgasser (R141b) og enkelte tilsetningsstoffer. Polyuretanskum oppstår som en kjemisk reaksjon mellom polyol og MDI. Drivgassen er vanligvis blandet i polyolen på forhånd, og bringes til kokepunktet som følge av eksoterm kjemisk prosess, slik at det oppstår en meget fin cellestruktur samtidig som plastmatrixen herdes.

Produksjonsprosessen fra råolje, naturgass, glukose(sukker) og salt frem til polyol og MDI er komplisert og blir her kun skjematisk beskrevet. Materialflytdiagrammet er ikke komplett.

Produksjonsutstyret ved fremstilling av tungt PUR-skum krever relativt tunge investeringer i formutstyr, skumaggregater, tanker, pumper, styringssystemer osv. Prosessen på dette stadiet er lite energikrevende. Tilført energi går stort sett med til oppvarming av produksjonslokalene.

Håndtering av kjemikalier skjer stort sett i lukkede systemer.

Tall for energiforbruk og utslipp er hentet fra det belgiske forskningsinstituttet VITO, som har gjennomført en omfattende analyse av isolasjonsmaterialer på vegne av EU [131].

Tallene for energiforbruk er meget usikre, og det opereres i litteraturen med tall fra ca. 60 MJ/kg til godt over 100 MJ/kg.

Ett av problemene med fremstilling av stivt polyuretanskum er at en kan bruke forskjellige materialblandinger (polyeter polyol, drivgass, flammenedsettende stoffer, andre additiver). Dette gjør det omtrent umulig å sette opp et generelt regnskap for polyuretanprodukter. Hvert produkt må vurderes for seg.

De norske produktene omfatter sandwichelementer med overflatesjikt av gips, stål eller aluminium. Emballasje og overflatemateriale er ikke med i regnskapet.

Drivgassen R141b ($\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$) er med i Montreal-protokollen og tilhører noen av de "snille" hydroklorfluorkarbon drivgassene. Den har et ozonedbrytende potensiale (ODP) på 0,08 i forhold til R11 og et drivhuseffekt potensialet (GWP) som er 150 ganger større enn for CO_2 -utslipp. Levetiden i atmosfæren er 8 år [89]. Stivt polyuretanskum er ett av de beste isolasjonsmaterialer mht. varmeledningsevne. Årsaken til dette er at de lukkede cellene er fylt med en drivgass (f.eks. R141b) som isolerer vesentlig bedre enn luft. Drivgassen vil normalt forbli i cellesystemet i produktets levetid, men en relativ beskjeden mengde drivgass lekker ut under produksjonen.

Transport til forbruker 400 km.

PRODUKSJONSPROSESS SANDWICHELEMENTER

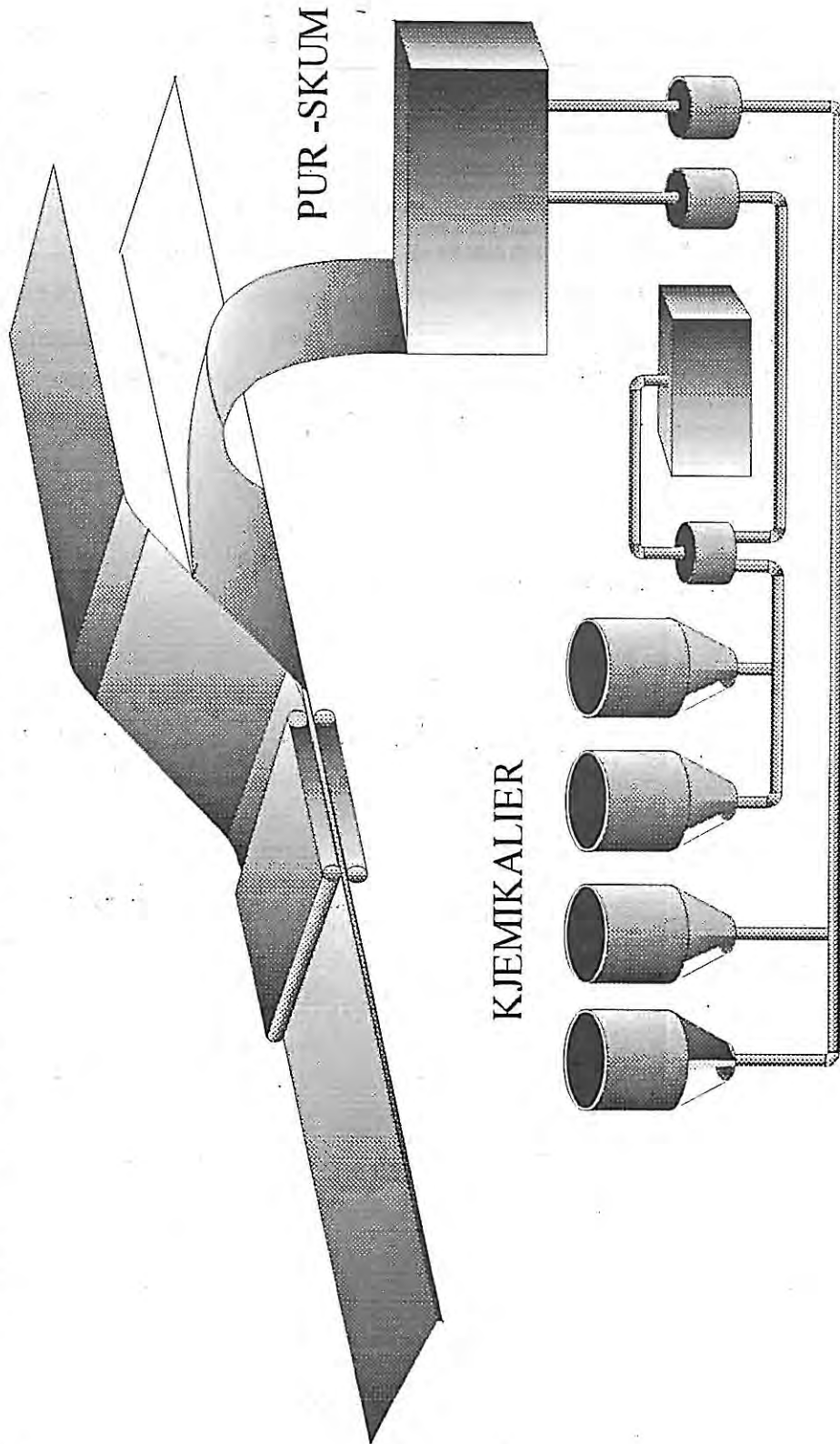
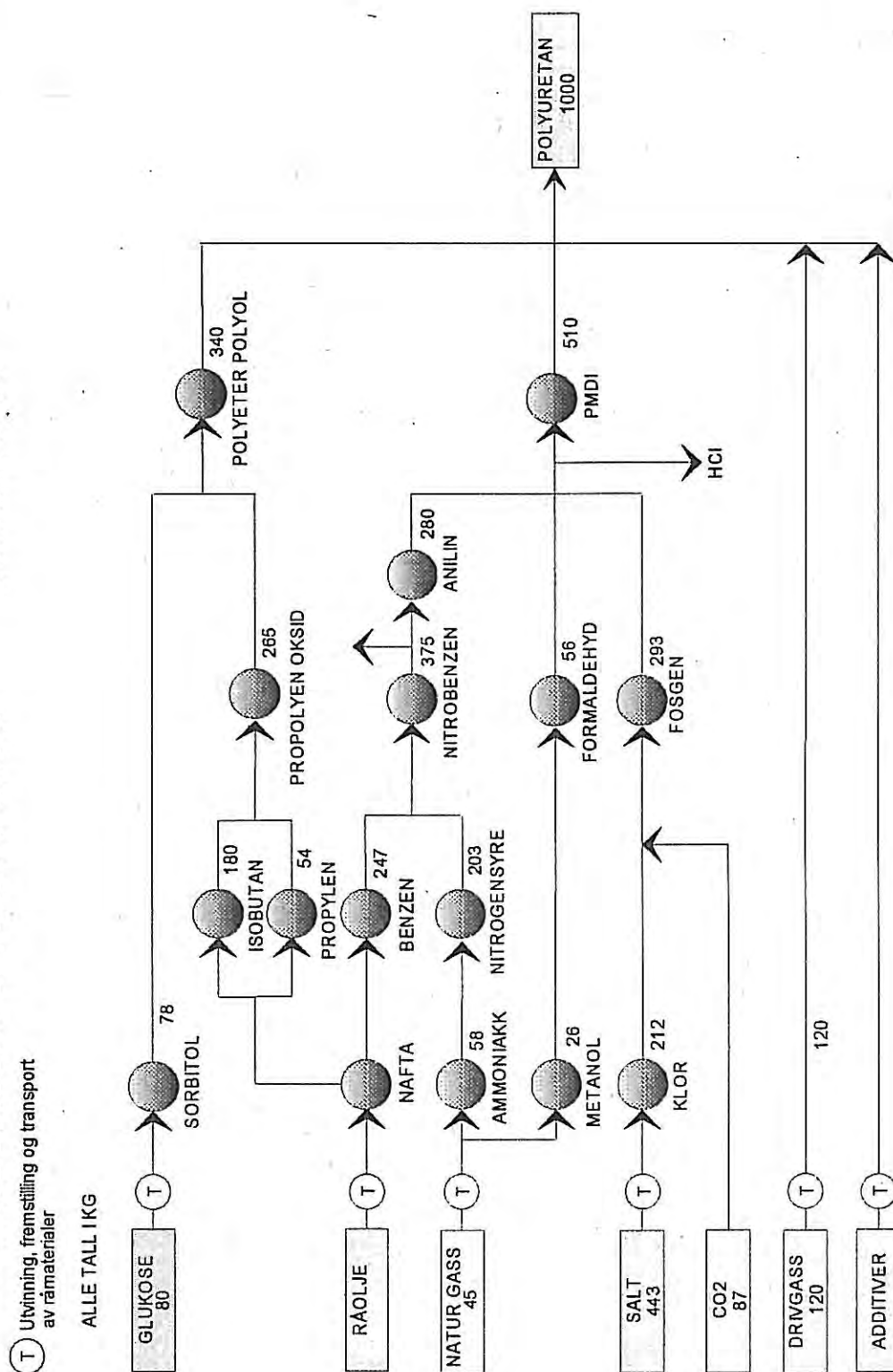


Fig. 20

Produksjonsprosess ved fremstilling av PUR - bygningsprodukter

PRODUKSJON POLYURETAN SKUM MATERIALFLYT



Figur 21

Produksjon av polyuretan - materialflyt

POLYURETAN								
	Energiforbruk				Utslipp til luft			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO2 g/kg	SO2 g/kg	NOx g/kg	Støv g/kg
Transport råvarer		1,5	1,5		111,8	0,7	1,6	0,1
PUR råvare	8,6	77,4	86,0	76,2	4375,2	26,6	10,1	2,3
Produksjon PUR isolasjon	6,8	3,0	9,8		320,0	0,8	2,0	0,2
Transport til byggeplass	0,0	0,7	0,7		48,3	0,0	0,8	0,0
TOTALT*	15	83	98	76	4855	28	15	3

* Brennverdi inngår i fossilt energiforbruk

Tabell 16

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av polyuretan

4.6 PVC

NORSK HYDRO A/S

PVC er en polymer i etylenfamilien hvor det er en grunnleggende kjede av karbonatomer og atomer av hydrogen og klor som er knyttet til denne kjeden. Klor representerer ca. 56 % av vekten.

Den fullstendige produksjonsprosessen for PVC består av fem stadier (se etterfølgende figur):

- utvinning av salt og hydrokarboner
- produksjon av klor og etylen fra disse naturlige råvarer
- blanding av klor og etylen for å lage vinylklorid monomer VCM
- polymerisering av VCM for å fremstille polyvinylklorid PVC
- blanding av PVC polymer med andre materialer for forskjellige blandinger med en lang rekke fysiske egenskaper

Klor, etylen og vinylklorid er produkter som blir laget i stor skala og i kontinuerlige prosesser. Produktene er flytende eller i gassform og prosessene er samlet innenfor et lukket system. Polymeriseringen av vinylklorid monomer (VCM) til PVC er også en lukket prosess, men det grunnleggende reaksjonsstadiet skjer ved at en bestemt mengde (batch) blir behandlet av gangen og ikke kontinuerlig.

Klor blir produsert ved hjelp av elektrolyse av saltoppløsning eller saltlake. Under elektrolysen blir klor produsert ved anoden, mens natrium eller natriumlut og hydrogen fremstilles ved katoden. I dag finnes det tre ulike kommersielle elektrolyseprosesser for å skille klor og natrium:

1. Amalgamprosessen anvender katoder av kvikksølv som reagerer med natrium til natriumamalgam.
2. I diafragramprosessen blir produktene fra anode og katode fysisk atskilt ved hjelp av en diafragma av asbest.
3. Membranprosessen bruker en organisk membran for å skille elektrolyseproduktene.

Etylenproduksjonen skjer fra våtgass som inneholder etan, butan og propan. Når våtgassen blir pyrolysert (cracket), dannes etylen og propylen sammen med ulike biprodukter. Det viktigste biproduktet er en brenngassblanding som inneholder hydrogen og metan. Denne blandingen blir brukt som energikilde ved anlegget.

I det første stadiet i produksjonen av vinylklorid reagerer etylen og klor eller hydrogenklorid i en kloreringsprosess for å fremstille etylendiklorid (EDC). Dette blir deretter "cracket" til vinylkloridmonomer (VCM) og saltsyre. Vinylkloridmonomer er en væske under trykk i polymeriseringsfabrikken. Det vanligste er å anvende en suspensjon- eller emulsjonsprosess. Suspensjonsprosessen gir relativt grove polymerpartikler (ca. 0,1 mm diameter), mens emulsjonsprosessen lager mye finere partikler. Vann og PVC blir atskilt ved hjelp av sentrifugering og PVC blir deretter varmluftstørket (spraytørket).

Produksjon av PVC-blandinger foregår i to hovedstadier ved at PVC og andre bestanddeler først røres sammen i en hurtigmikser slik at komponentene blir grundig fordelt og føres deretter til en ekstruderblander til fremstilling av granulater. PVC-resepter kan lages slik at produktene enten blir stive, myke eller elastiske. Tilsatsstoffene varierer fra null til over 50 % av blandingen og er som regel en enkel fysisk blanding av komponentene i resepten.

Bruksområder innen bygg og anlegg

I Vest-Europa brukes ca. 2,8 mill. tonn PVC pr. år i byggebransjen. Dette utgjør 55 % av PVC-produksjonen. PVC-blandinger blir oftere brukt i langtidsanvendelser enn andre typer plast.

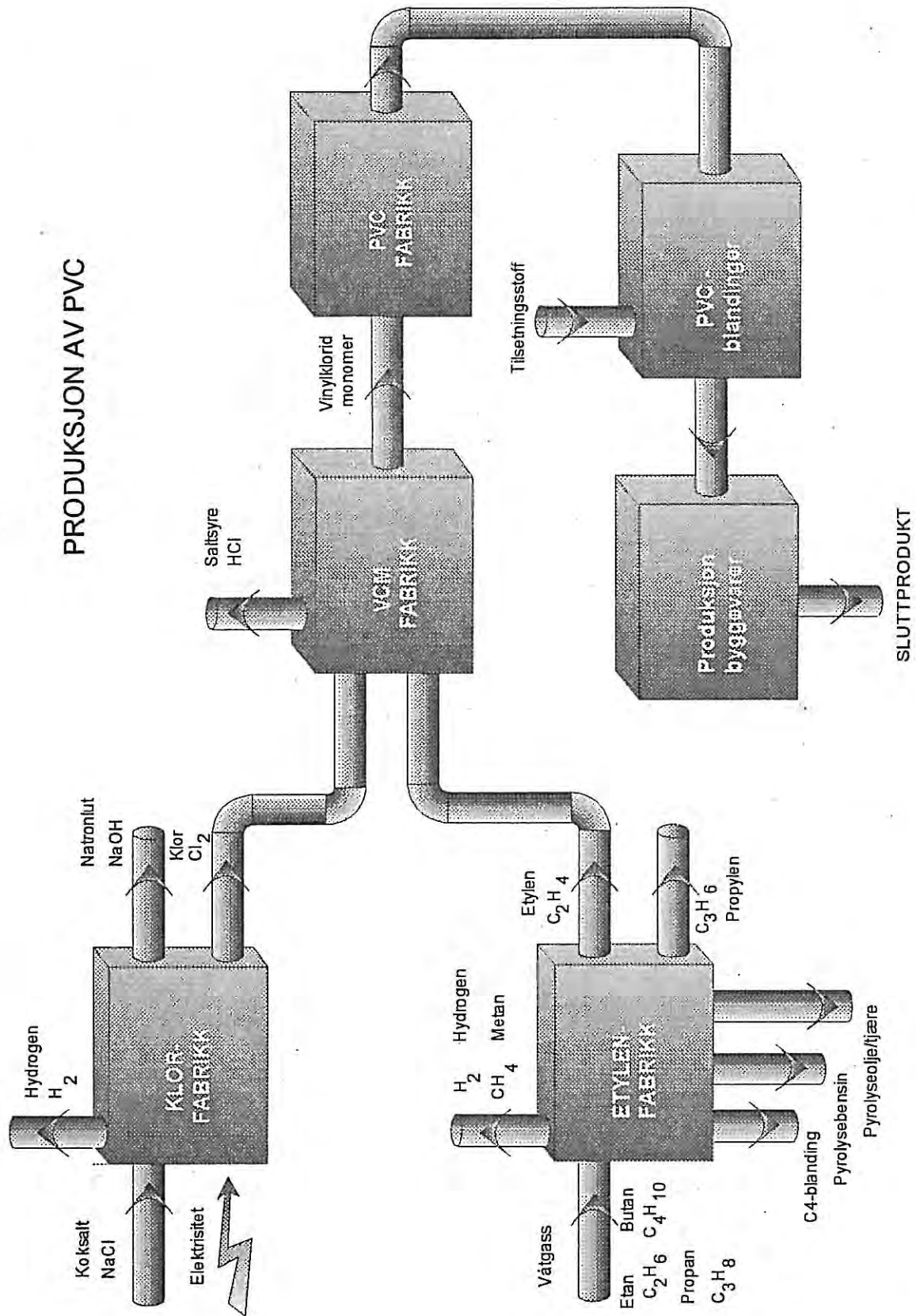
Omkring 25 % av Vest-Europas PVC-produksjon går til fabrikasjon av rør. PVC har en dominerende posisjon i Europa når det gjelder takrenner og avløpssystemer for boliger.

Rundt 9 % av PVC-forbruket i Vest-Europa brukes til isolasjon og belegg av elektriske kabler og kommunikasjonskabler. Generelt regnes PVC som det beste isolasjonsmaterialet for lav-voltkabler. Hovedledninger for hus og fleksible tilkoplingsrør er nesten alltid fremstilt av PVC.

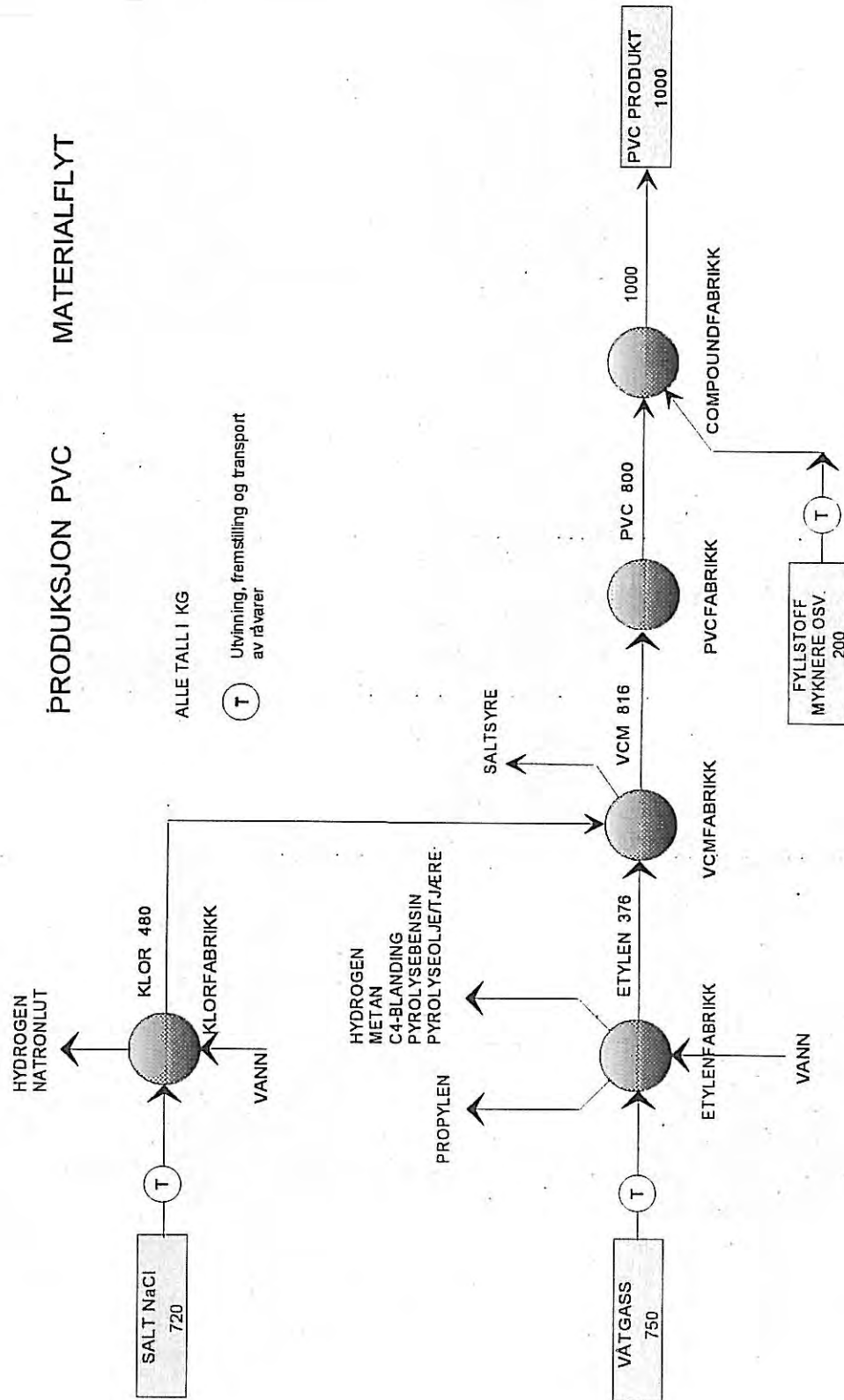
Vinyl gulvbelegg, enten som fliser eller i kontinuerlige lengder, utgjør ca. 5 % av PVC-forbruket, og PVC blir brukt som underlag for mange slag ulike tekstilgulvtepper og i tapeter og himlingsfolier.

PVC inngår dessuten i en rekke andre byggevareprodukter som fasadekledning, membraner, takbelegg, vinduer, innredninger og listverk [9] [12] [13] [52] [80].

Transport til forbruker inngår ikke i regnskapet, men tilvirkningen i form av ekstrudering er med.



Figur 22
Produksjonsprosess ved fremstilling av PVC



Figur 23
Produksjon av PVC - materialflyt

PVC Data fra 1991	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT				
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Etylen*	0,70	36,05	36,75	23,45	477,49		0,67	
Klor	3,26	1,02	4,28					
VCM	0,54	6,02	6,55		209,76			
PVC	1,14	4,60	5,74					0,19
Hjelpe energi	2,80		2,80					
Ekstrudering	0,00		0,00					
Totalt*	8,44	47,69	56,13	23,45	687		0,67	0,19

* Brennverdi er inkludert i det fossile energiforbruket

El uttak vegg, virkningsgrad 0,876

Tabell 17

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av PVC

4.7 VINDUER - GLASS

H-PRODUKTER A/S

Vinduer og dører i vinyl eller kunststoff er relativt nytt i Norge. I Danmark og Tyskland har disse vært i bruk i mer enn 25 år og har en markedsandel på ca. 40 %. H-vinduet i vinyl er glidehengslet og utadslående og har en smekker karmprofil. Karm og rammeprofil er laget av ekstruderte, gjennomfargede og slagfaste vinylprofiler av flerkammertypen. Før sammensveising blir det innlagt galvaniserte stålførsterkninger som skrues fast i karm- og rammeprofilene. Alle hjørner blir sveiset i en og samme operasjon og deretter blir hengsler og øvrige beslag montert. Karm og ramme kobles deretter sammen og vinduet er klar for innmontering av isolerglass.

H-Produkter A/S har produktgodkjennelse og medlemskap i Norsk Dør- og Vinduskontroll.

Glassfremstilling.

Glasset produseres av Pilkington. Tilvirkningen skjer ved en kontinuerlig smelting av glassmasse i en såkalt floatprosess hvor råmaterialene varmes opp til en maksimaltemperatur på 1600 °C og deretter formes til et kontinuerlig glassbånd. Glassmassen flyter ut på et bad av smeltet tinn hvor den oppnår en slett og polert overflate uten forvrengninger av siktbarheten. På dette badet avkjøles glasset ned til 500 - 600 °C. I den videre prosessen skjæres deretter glasset til hensiktsmessige størrelser. Den mest vanlige glasstykkelsen for vindusglass er 4 mm.

Det vanlige vindusglasset er et kalk-soda-silikat glass. Selve glassoppbyggingen består av silisiumdioksid, SiO_2 . Denne gjør at glasset forblir en underkjølt væske, dvs. det skjer ingen krystallisering ved avkjølingen. Det er vanlig sand av høy renhet som utgjør hovedråvaren. Råmaterialene for produksjon av glass er sand (59 %), soda (18 %), dolomitt (15 %), kalkstein (4 %), nefelin (3 %) og natriumsulfat (1 %). Når disse råmaterialene smelter, får man et glødetap på ca. 17 %, som skyldes avgassing og i hovedsak frigjøring av CO_2 .

Den kjemiske sammensetningen av en glassrute er et blandet silikat med kjemisk analyse; 72 % silisiumoksid, 14 % natriumoksid, 9 % kalsiumoksid, 3 % magnesiumoksid og 1 % aluminiumoksid. Tilsetningen av natriumoksid gjør glasset mer lettflytende, men svekker glassets kjemiske motstand og dets evne til å klare raske temperaturvariasjoner. Kalsiumoksid tilsettes for å bedre glassets kjemiske motstandsevne. Magnesiumoksid gjør glasset formbart ved lavere temperatur og reduserer risikoen for krystallisering. Aluminiumoksidet forbedrer glassets mekaniske holdbarhet slik at det tåler raske

temperaturvariasjoner og kjemisk motstand. En av råvarene, natriumsulfat, utfører den såkalte raffineringen. Ved høy temperatur brytes natriumsulfatet ned til bl.a. SO_2 , som avgis til luften. I forbindelse med dette drar gassen med seg innesluttet luft og CO_2 slik at glasset blir homogent og uten porer.

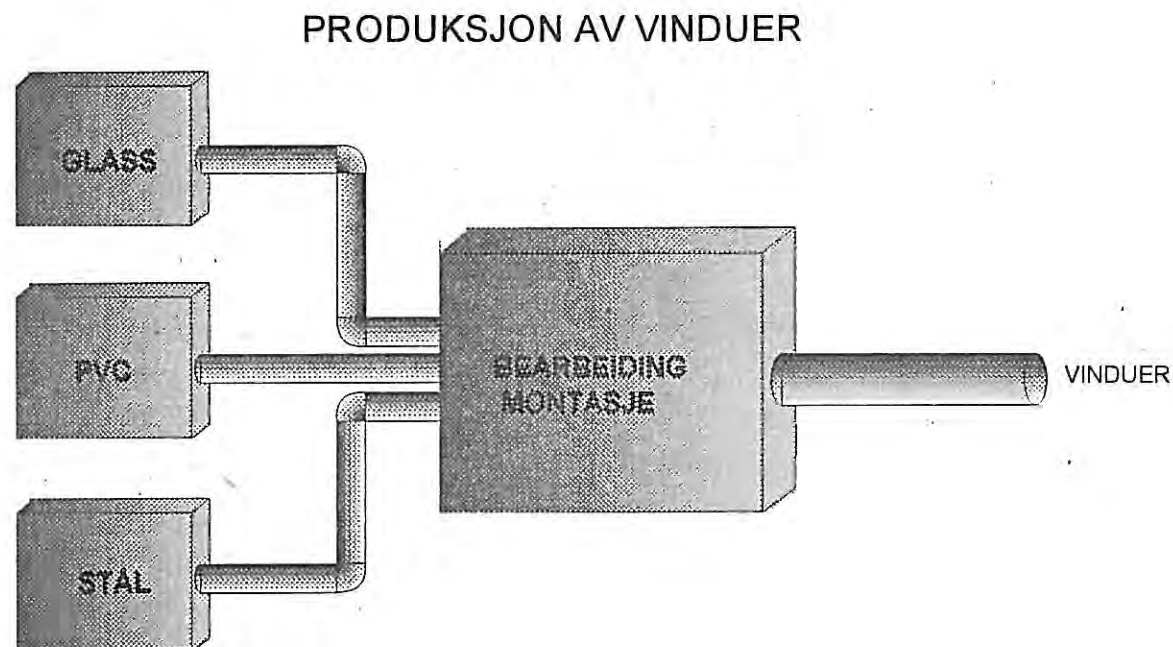
Enkeltglass har "dårlige" varmeisoleringssegenskaper slik at en i et vindu anvender to eller tre glassplater med luft eller en annen tyngre gass (argon) mellom glassene for å bedre isoleringen.

Strålingstapene reduseres ved å belegge glassoverflaten med et emisjonsbelegg, som er et tynt sjikt av metaller. Denne prosessen krever et energiforbruk på $\sim 7,2 \text{ MJ/m}^2$.

Materialflyten viser fremstillingen av glass basert på basisråmaterialene. I tillegg tilsettes det ved glassmeltingen 15 - 20 % knust glassavskjær [1] [26] [40].

For de øvrige materialene som inngår i vinduet, PVC og stål, vises det til fremstillingen og produksjonen av disse under sine respektive beskrivelser.

Transporten til forbruker er 400 km.



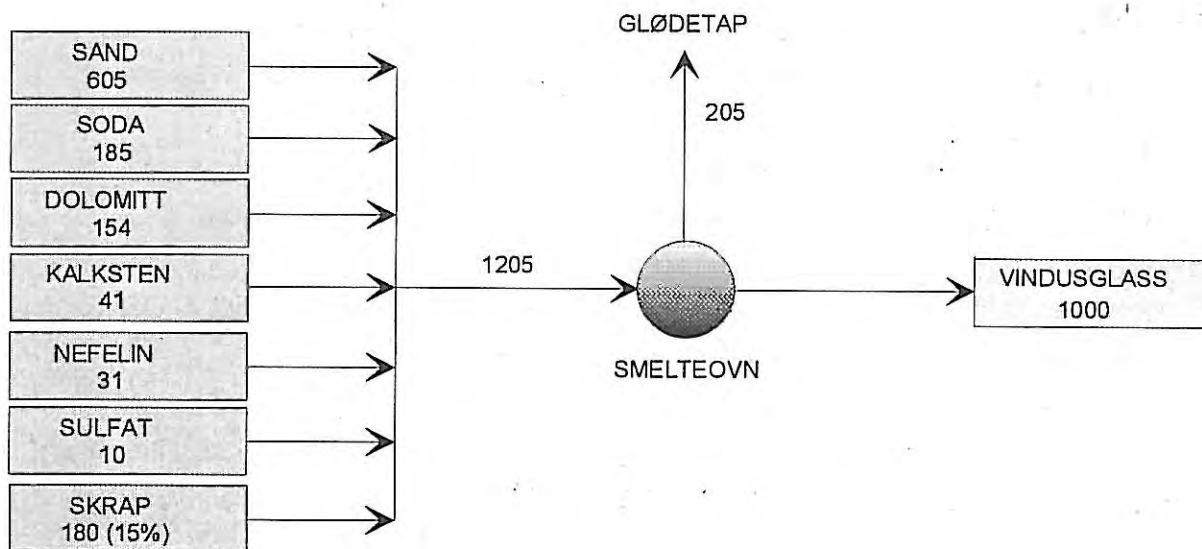
Figur 24

Produksjonsprosess ved fremstilling av vinduer

PRODUKSJON GLASS MATERIALFLYT

(T) Transport

ALLE TALL I KG



Figur 25

Produksjon av glass - materialflyt

H-PRODUKTER Data fra 1991	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El	Fossilt	Totalt	Brennv.	CO ₂	SO ₂	NO _x	Støv
	MJ/vindu	MJ/vindu	MJ/vindu	MJ/vindu	g/vindu	g/vindu	g/vindu	g/vindu
Transport glass		5	5		390	0	6	0
Transport PVC, stål		14	14		1050	1	17	1
Glass 4mm floatglass	21	193	214		17422	23	114	1
Stål, hengsler, vridere	572	3	575			6	0	4
Vinylkarm	99	559	658	275	8061		8	2
Produksjon	59		59					
Transport til forbruker		7	7		541	0	9	1
Totalt	751	782	1533	275	27465	32	153	9

Tabell 18a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av vinduer

H-PRODUKTER	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Totalt *	13,9	14,5	28,4	5,1	509,5	0,6	2,8	0,2

Tabell 18a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av vinduer. Vekt pr. vindu 53,9 kg

GLASS	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Transport råvarer/produkt		0,22	0,22		16	0,01	0,26
Produksjon	0,72	6,48	7,20		589	0,80	3,70
Totalt	0,72	6,70	7,42		605	0,81	3,96

Tabell 18c

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av glass

4.8 TAKBELEGG

PROTAN A/S

PVC takbelegg, eller takfolie, består normalt av en stamme (bærer) belagt på begge sider med mykgjort PVC.

Stammen kan være en glassfilt. Den mekaniske styrken er da lav, og takbelegget belastes med singel for å holde det på plass.

Den mest vanlige stammen er imidlertid et vev av polyestergarn. Den mekaniske styrken er da betraktelig høyere, og takbelegget festes til takkonstruksjonen med skruer og spesielle festemidler.

I begge tilfeller sveises smale baner (1- eller 2 meters bredde) sammen til en heldekkende flate ved hjelp av varmluft.

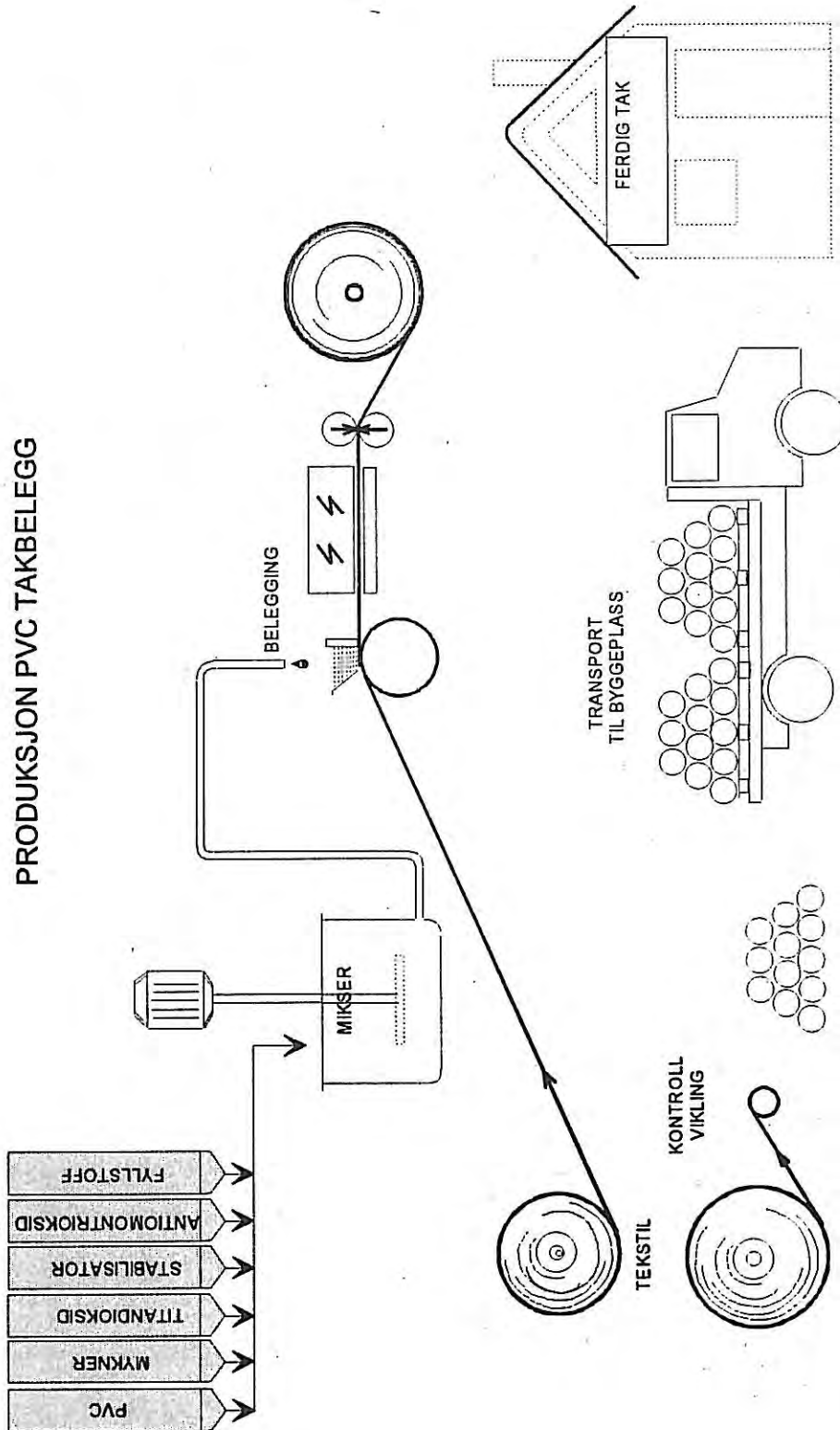
Selve produksjonen omfatter:

- blanding av PVC (pulver) med mykner (væske), stabilisator (pulver), pigmenter (pulver) og fyllstoff (pulver)
- kverning av PVC-avfall (i dette tilfellet)
- belegging av en vevd tekstil av polyestergarn med den ovennevnte blanding
- konfeksjonering av den tosidige belagte tekstilen til rulleware, større flak og detaljer (innvendige og utvendige hjørner, gjennomføringer m.m)
- legging av takbelegget, eventuelt sammen med isolering, festing og sammensveising

Et takbelegg av PVC kan leveres i ulike tykkelser og farger. Belegget tåler stående vann, og taket kan derfor være helt flatt (uten fall).

Den mest vanlige kvaliteten er 1,2 mm tykk i 1 meters bredde, og det er denne kvaliteten som er lagt til grunn for de etterfølgende beregninger [3] [43] [62].

PRODUKSJON PVC TAKBELEGG



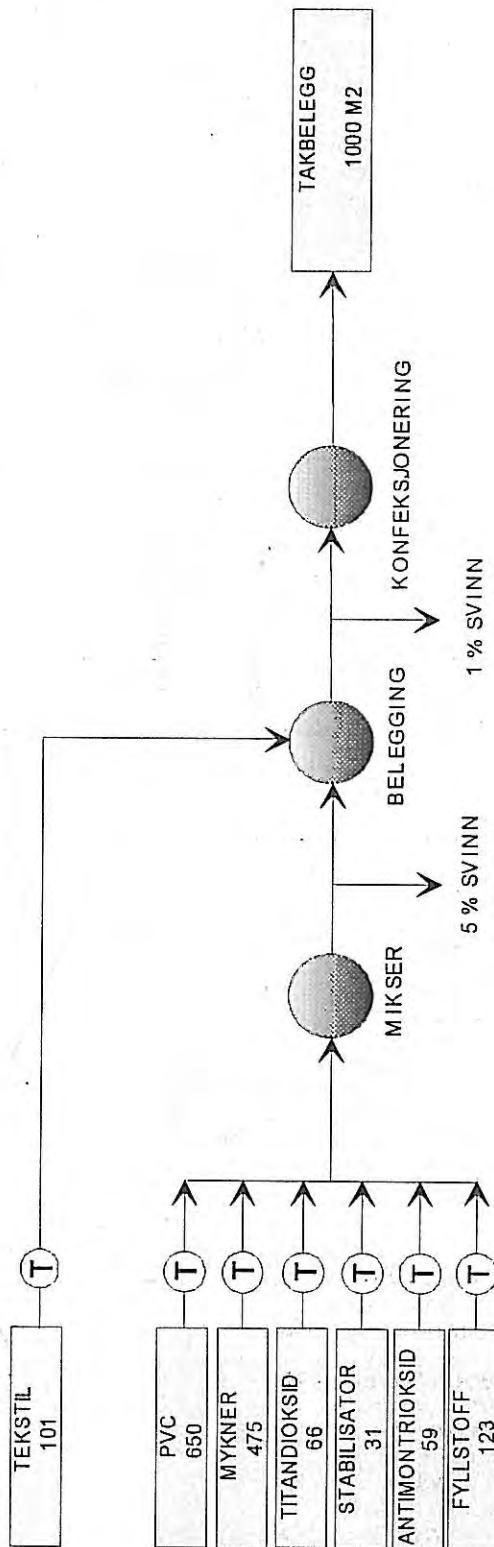
Figur 26
 Produksjonsprosess ved fremstilling av takbelegg

PRODUKSJON AV PVC TAKBELEGG MATERIALFLYT

Utvinning fremstilling og transport av råmaterialer



ALLE TALL I KG



Figur 27
Produksjon av takbelegg - materialflyt

TAKBELEGG	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/m ²	Fossilt MJ/m ²	Totalt MJ/m ²	CO ₂ g/m ²	SO ₂ g/m ²	NO _x g/m ²	Støv g/m ²
Tekstil			10,0				
PVC *	5,5	31,0	36,5	447	0,0	0,4	0,1
Mykner			2,3				
Titandioksid			2,7				
Stabilisator			0,0				
Fyllstoffer			0,0				
Produksjon			9,7				
Byggeplass			0,4				
TOTALT	5,5	31,0	61,6	447	0,0	0,4	0,1

* Total belastning fra PVC, ingen resirkulering

Tabell 19a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av takbelegg

TAKBELEGG	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
TOTALT	3,7	20,7	41,1	298	0,0	0,3	0,1

Tabell 19b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av takbelegg med tetthet 1,5 kg/m²

4.9 GIPSPLATER

NORGIPS A/S

Gips er en naturforekomst som finnes overalt på kloden. I Europa er det særlig store forekomster i landene rundt Middelhavet, men også i Tyskland og Polen finnes betydelige gipsforekomster.

I tillegg til naturlige forekomster av gips, finnes det i dag en ikke uvesentlig kilde av industrielt fremstilt gips. Ved vasking av svovelholdige avgasser fra forbrenning av kull får man som biprodukt gips med samme kjemiske sammensetning som de naturlige forekomstene har.

Gips har vært benyttet som byggemateriale i flere tusen år. Ved bygging av Keops-pyramiden benyttet egypterne gips i blokker og som mørtel. Senere har gips vært benyttet til utsmykning av tak- og vegger, stukkatur.

Våre dagers utbredte bruk av gips som byggemateriale startet i slutten av forrige århundre, da amerikanerne begynte å fremstille gipsplater. Den stadig stigende anvendelsen skyldes særlig materialets gode brann- og lyddepnende egenskaper, samt dets nøytrale virkning på inneklimateet.

Som hovedkomponent i fremstilling av Norgips gipsplater benyttes rågips som kommer fra Spania, sammen med gips fra avsvovlingsanlegg ved nordtyske kullfyrte kraftverk.

Naturgips fra Spania brytes i gruver eller dagbrudd og fraktes til Norge med spesialskip. Denne gipsen har en renhet på 92 - 95 %. Gips fra avsvovlingsanlegg fraktes også med skip til Norge. Gipsen leveres i henhold til kravspesifikasjoner når det gjelder renhet, innhold av vann og fremmede stoffer. Renheten er på 98 - 99 %. Begge disse råvarene levers til kai i direkte tilknytning til Norgips sitt produksjonsanlegg. En tredje og viktig råvare i produksjon av gipsplater er spill og vrak fra egen produksjon. Avhengig av tilgang blandes det mellom 5 - 15 % resirkulert materiale inn i gipsplatene etter at spill og vrak har vært gjennom en fragmenterings-, knuse og dehydreringsprosess.

Produksjonen ved Norgips sitt anlegg i Norge er ca. 18 mill m² pr. år.

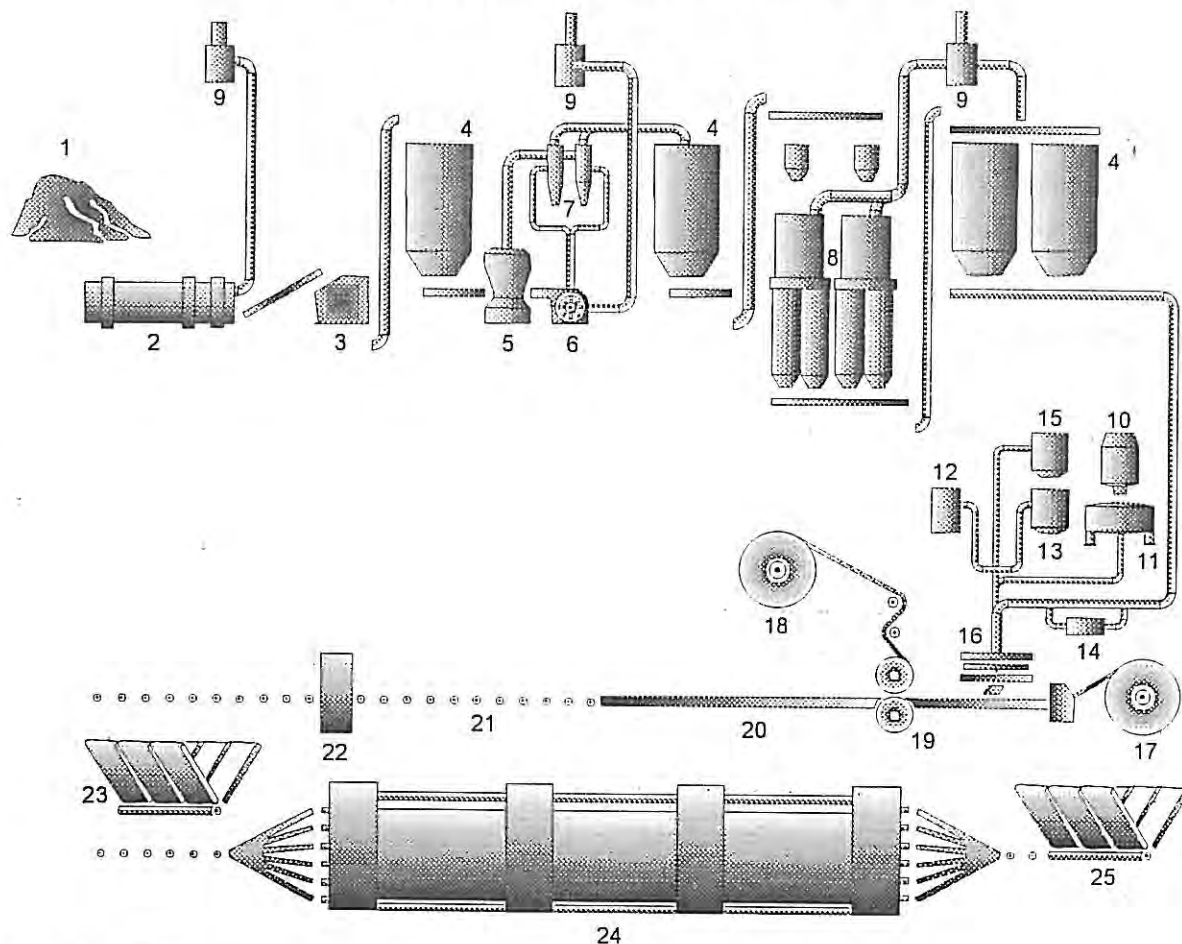
Fremstillingsprosessen foregår i 5 trinn, som begynner med uttak av fritt vann i en roterende tørkeovn hvor temperaturen er ca. 60 - 80 °C. Gipsen blir videre malt ned til ønsket kornstørrelse. Deretter kalsineres gipsen slik at gjenværende bundet vann blir ca. 4 - 6%. Transport av rågips frem til formingsstasjonen foregår med transportbånd, skruer og elevatorer. Gipsen blandes med vann og tilsetningsstoffer til en masse som kan formes. Neste skritt er å forme produktets fysiske dimensjoner. Deretter gis det en størkningstid på 4 - 6 min, hvoretter produktet går inn i en tørkeprosess for å dampe ut overskuddsvannet.

Det som nå gjenstår er renskjæring, stabling og pakking. Fremstillingen er helautomatisk fra behandling av råvarer, frem til stabling i pakker. Deretter foregår det en fysisk håndtering i form av intern lagring, klargjøring og lasting.

Kartongen som gir strekk og bøyestyrke til gipsplatene er fremstilt av 100 % returfiber. Norgips resirkulerer alt spill og vrak fra egen produksjon, noe som har bidratt til å redusere avfallsmengden til et minimum. Energien som brukes til fremstillingsprosessen er elkraft og propangass [44].

Transport til forbruker 225 km.

PRODUKSJON AV GIPSPLATER



- | | | | |
|-----|-------------------------|-----|-------------------------|
| 1. | Rågips | 14. | Akseleratormasse |
| 2. | Roterende tørkeovn | 15. | Såpemikser |
| 3. | Grovknuser | 16. | Mikser |
| 4. | Silo | 17. | Forside-kartong |
| 5. | Finknuser | 18. | Bakside-kartong |
| 6. | Vifter | 19. | Formbord med formvalser |
| 7. | Sykloner | 20. | Båndbane |
| 8. | Kalsineringskjeler | 21. | Rullebane |
| 9. | Filter | 22. | Saks |
| 10. | Cellulosefiber-oppløser | 23. | Vendebord |
| 11. | Fibermasse tank | 24. | Tørkeovn |
| 12. | Glassfiberkutter | 25. | Renskjæring og bunting |
| 13. | Stivelse m.m. | | |

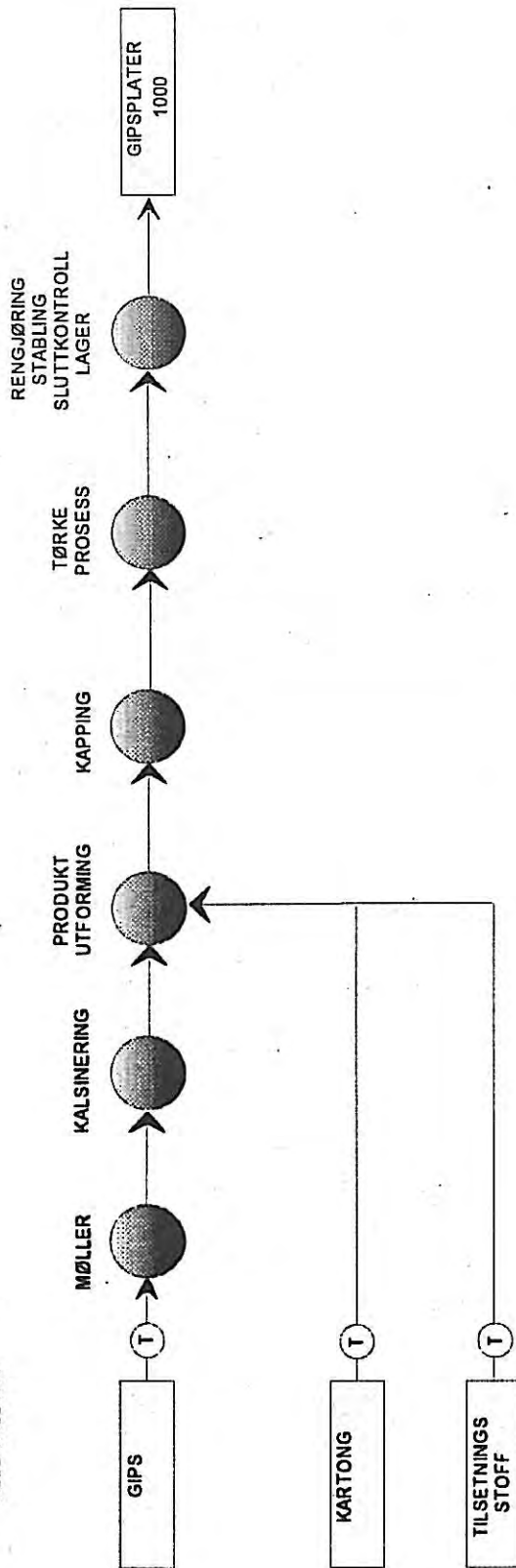
Figur 28

Produksjonsprosess ved tilvirkning av gipsplater

PRODUKSJON GIPSPLATER MATERIALFLYT

Ⓣ Utvinning, fremstilling og transport av råmaterialer

ALLE TALL I KG



Figur 29

Produksjon av gipsplater - materialflyt

GIPSPLATER	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
Transport av gips/avsvovlingsgips		1,46	1,46	110	0,70	1,61	0,18
Kartong	0,13	0,35	0,49	26	0,02	0,42	0,03
Prosess	0,39	2,60	3,00	194	0,17	3,08	0,25
Tilsetningsstoff transport		0,02	0,02	1	0,00	0,02	0,00
Transport til forbruker		0,18	0,18	14	0,01	0,22	0,04
TOTALT	0,52	4,61	5,14	345	0,91	5,34	0,50

Tabell 20a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av gipsplater

GIPSPLATER	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/m ²	Fossilt MJ/m ²	Totalt MJ/m ²	CO ₂ g/m ²	SO ₂ g/m ²	NO _x g/m ²	Stov g/m ²
TOTALT	4,8	42,1	46,9	3150	8,3	48,7	4,6

Tabell 20b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av 13 mm gipsplater med tetthet 750 kg/m³

4.10 SPONPLATER

NORSKE SKOG A/S PLATER

Det vesentligste av råvarene i sponplater er såkalt mindreverdige trevirke, d.v.s. rundvirke av bjørk og annet lauvtre, tynningsvirke og frasortert bartre, samt store mengder sagflis og kutterflis fra sagbrukene.

Det dreier seg om fornybare råvareressurser, og det dreier seg om kvaliteter som for en stor del inntil nylig har vært ansett som avfall. Opptil 80-90 % av trevirkeforbruket består av sagflis og kutterflis ved enkelte anlegg.

Limresepten som dominerer er basert på urea-formaldehyd. Urea er et utmerket gjødningsstoff som benyttes i skogkulturen. Det utherdede limet er et reaksjonsprodukt mellom urea og formaldehyd. Formaldehyd er et oksidasjonsprodukt av metanol. Reaksjonen er eksotermisk og gir et stort bidrag til dekning av energibehovet ved produksjon av sponplatelim. Verken limrester, virkesrester, eller sponplaterester som får brytes ned i naturen under tilgang på luft og vann, representerer noen miljøfare; sluttproduktet blir humus, CO₂, H₂O og nitrogenforbindelser som tas opp av nye floragegenerasjoner.

Trevirket omvandles maskinelt til spon som tørkes, tilsettes lim og herder, formes til en matte og varmpresses til sponplater. Råplaten trimmes, pusses (tykkelsesjusteres) og deles opp, og eventuelt viderebearbeides. Prosessen er en tørrprosess, og det er ikke utslipp av prosessvann. Det er imidlertid utslipp av noe trestøv, betydelig utslipp av forbrenningsgasser og av vanndamp og et beskjedent utslipp av formaldehyd fra sponplatepressen.

Utslipp av trestøv er konsesjonsregulert og gjenstand for kontroll. Utslipp av forbrenningsgasser skyldes forbrenning av alt det materialet som ikke egner seg i produktet. Denne energien brukes i hovedsak til å tørke sponet. På denne måte er forbruket av tungolje redusert i betydelig grad, enda til opphørt, og utslipp av SO₂ er redusert tilsvarende.

Sammensetningen av forbrenningsgassene er kompleks, men studier og liknende forsøk viser at det er liten forskjell i sammensetningen, sammenliknet med avgass fra forbrenning av ren ved, fiberplater eller kryssfiner, under ellers like betingelser.

Tørkingen av tresponet ned til 2 % absolutt fuktighet innebærer en viss vanndampdestillasjon av lett og middels flyktige aromatiske forbindelser i veden som terpenier, harpikser etc.

Utslipp fra ventilasjon over sponplatepressen inneholder mindre mengder formaldehyd som i det alt vesentligste stammer fra limet som herder i sponplatepressen. Konsentrasjonen er lav på grunn av ventilasjon med store luftmengder, og gassen brytes raskt ned til CO₂ og H₂O.

Som en direkte følge av innføringen av de nye formaldehydfattige P-1 limtyper er også dette utslippet sterkt redusert.

Elenergi kreves til drift av maskineriet. For øvrig benyttes elektrisitet (spillkraft) til oppvarming av varmemedium i sponplatepressen. Det totale energiforbruket ved fremstilling av sponplater her i landet fordelt på produksjonsvolum i m³ standard helformater ligger på omkring 700 kWh/m³, lavest ved våre største fabrikker. Det er spontørkene som krever mest energi og forbruket varierer noe m.h.t. klima etc. Hvor meget av dette som stammer fra ikke-fornybare kilder, varierer fra fabrikk til fabrikk. Holder vi oss til Norges største sponplatefabrikk, er dens energiforbruk til tørking av spon fra ikke-fornybare energikilder bare 30 kWh/m³.

Den norskproduserte standard sponplate består av ca. 80 % trevirke, 10 % sponplatelim (urea-formaldehyd), hydroforbedringsmiddel, herder og fuktighet. Norske Skog Plater har erstattet ammoniumklorid som herder med det mer miljøvennlige ammoniumsulfat. Norskproduserte sponplater er gjenstand for intern og ekstern formaldehydkontroll. De tilfredsstillende forslaget til CEN-norm (Committee Europeenne de Normalisation) som nå er ute på høring, og har en Perforatorverdi (CEN-120/93) på < 8 mg/100 g. Dette kravforslaget er for øvrig det samme som det nordiske P-1 kravet (NKB-spektrofotometrisk bestemmelse). Formaldehyd-kontrollen skjer ved fersk produksjon. Såvel formaldehydinnholdet som emisjon fra sponplater til luft avtar raskt, og inntar etter noen tid den samme likevekt med den omgivende luft som andre bygningsmaterialer det kan være aktuelt å sammenlikne med.

Som det fremgår av ovenstående blir det lite prosessavfall når en vesentlig del av energibehovet kan dekket ved forbrenning av avfall. Utsortert avfall, forurenset avfall, avfall bestående av bark, oppsop, samt ordinært avfall som plast, båndjern, papir og tilsvarende blir deponert på godkjent deponi.

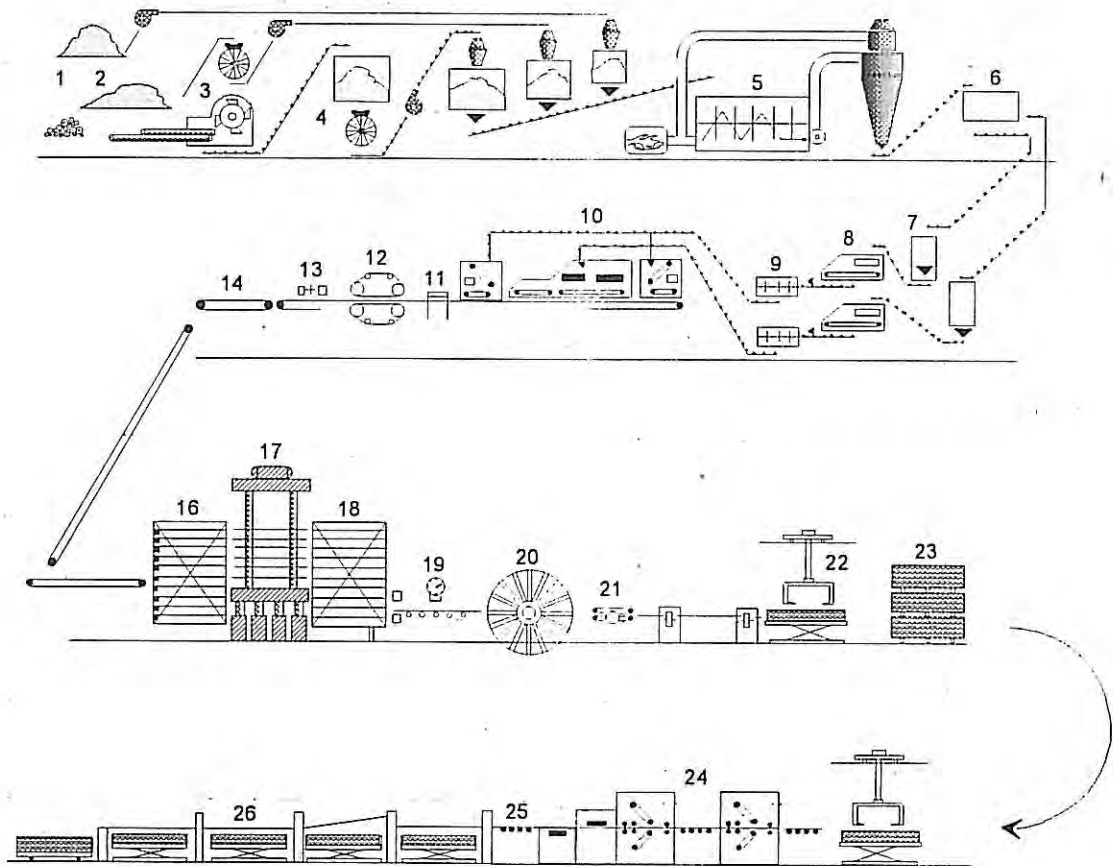
Ved en fremtidig kildesortering av det som i dag er sponplatefabrikkenes avfall, d.v.s. fjerning av plastemballasje, båndjern o.a. metall, papir etc., er resten av avfallet (støv, spon, bark, plugg) ordinært nedbrytbart bio-avfall med en nedbrytningsprosess i et deponi tilsvarende den som finner sted i en torvmyr. Bedriftens prosessavfall blir alltid kjørt til godkjent deponi. Utherdet sponplatelim er klassifisert som ikke miljøfarlig (Miljøverndepartementet).

Sponplatemateriale kan bare i meget begrenset omfang resirkuleres som råstoff. Dette skyldes at den mekaniske bearbeiding og nedbrytning fører til altfor lite gjenvunnet brukbar sponfraksjon og altfor meget støv. Bearbeidingen er energikrevende og den gjenvinnbare andel krever stort limforbruk.

Grovknusing av sponplateavfall og -avkapp gir et produkt som egner seg godt til forbrenning og varmeproduksjon i egnet fyringsanlegg. Forbrenningsgassene som produseres ved normal, fullstendig forbrenning er praktisk talt de samme som ved tilsvarende forbrenning av helved, kryssfiner eller trefiberplater. Den uorganiske tilsetning (herdersystemet) i sponplaten er vanligvis ammoniumsulfat (benyttes også som gjødningsmiddel) [41][127].

Transport til forbruker er 250 km.

PRODUKSJON AV SPONPLATER

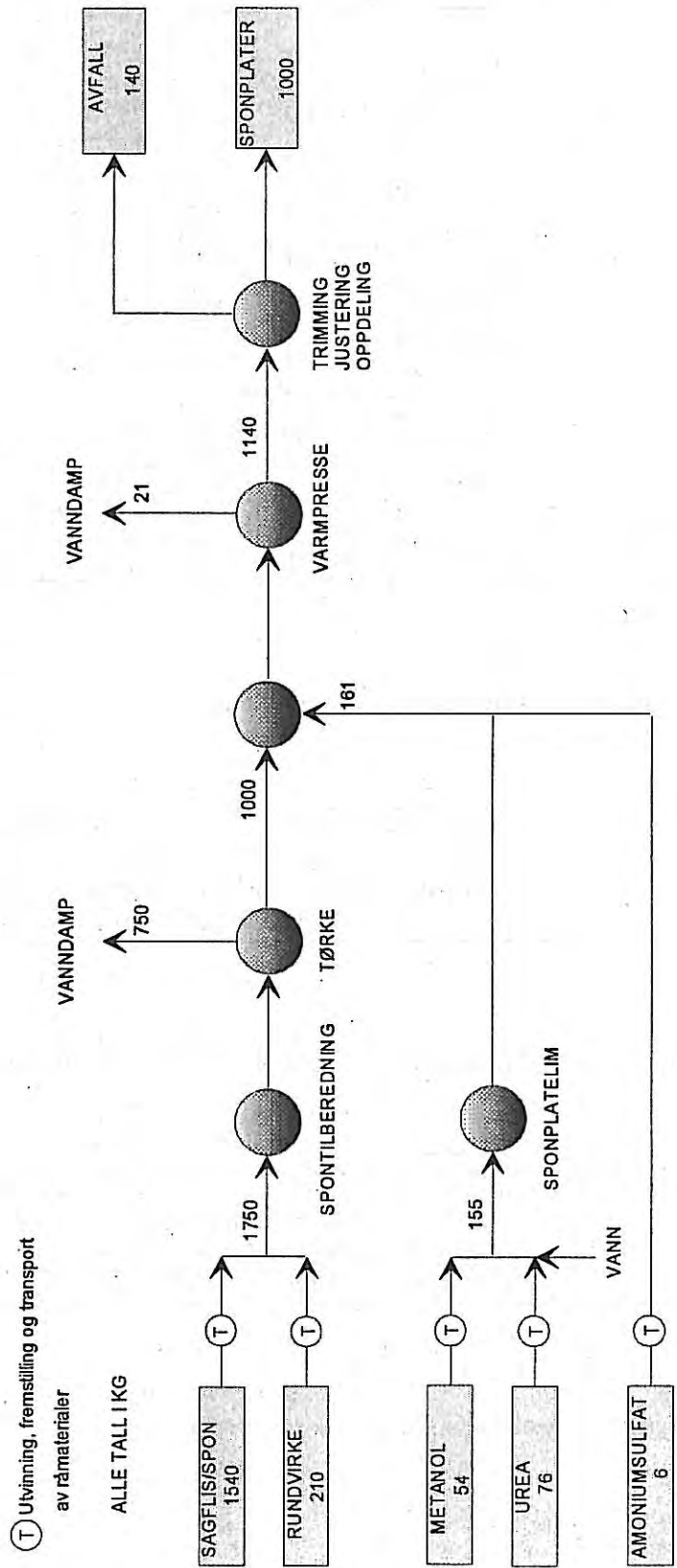


- | | | | |
|-----|------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1. | Vektstasjon | 14. | Akselerasjonsbånd |
| 2. | Virkeslager | 16. | Innmatningsheis |
| 3. | Hogger | 17. | Presse |
| 4. | Sponmølle | 18. | Utmatningsheis |
| 5. | 19. | Kontroll av tykkelse og platevekt | |
| 6. | Svingsiker | 20. | Kjølevender |
| 7. | Tørrsponbunker | 21. | Trimmesag |
| 8. | Utjevningbunkere | 22. | Traverskran |
| 9. | Lim-spon mikser | 23. | Mellomlager |
| 10. | Strøstasjoner | 24. | Pussemaskiner |
| 11. | Metallsøker | 25. | Platevender |
| 12. | Forpresse | 26. | Sorteringsanlegg |
| 13. | Mattesag | | |

Figur 30

Produksjonsprosess ved fremstilling av sponplater

PRODUKSJON SPONPLATER MATERIALFLYT



Figur 31
Produksjon av sponplater - materialflyt

SPONPLATER	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/m ³	Fossilt MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Brennv. MJ/m ³	CO ₂ g/m ³	SO ₂ g/m ³	NO _x g/m ³	Stov g/m ³
Limtilvirkning	21,60	14,40	36,00		1070	0,98	16,94	1,34
Transport		14,28	14,28		1061	0,97	16,80	1,33
Sagflis/spon transport		97,10	97,10		7215	6,60	114,24	9,02
Spontilberedning	180,00		180,00					
Spontørking		108,00	108,00		8025	7,34	127,06	10,04
Spontransport	68,40		68,40					
Presse	316,80		316,80					
Presselinje	176,40		176,40					
Formatskjæring	79,20		79,20					
Laminering	68,40		68,40					
Romoppvarming	126,00		126,00					
Transport til forbruker		222,41	222,41		16526	15,12	261,66	20,67
TOTALT	1036,80	456,20	1493,00	10448	33897	31,02	536,70	42,40

Tabell 21a

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av sponplater

SPONPLATER	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
TOTALT	1,38	0,61	1,99	13,93	45,20	0,04	0,72	0,06

Tabell 21b

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av sponplater med tetthet 750 kg/m³

PORØSE TREFIBERPLATER ASFALTPLATER	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
TOTALT	6,06	1,17	7,23	10,64	118,12	0,44	1,45	0,14

Tabell 22

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av porøse trefiberplater

PRESSET TREFIBERPLATE	ENERGIFORBRUK				UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	Brennv. MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
TOTALT	3,06	0,60	3,66	7,54	66,83	0,06	1,06	0,08

Utslipp til vann: COD 7,55 g/kg trefiberplate

Tabell 23

Energiforbruk og utslipp ved fremstilling av presset trefiberplater

4.11 LETTKLINKERBLOKKER

A/S NORSK LECA

Produksjonen av lettklinkerblokker foregår på grunnlag av råmaterialene:

- A) lettklinker (ekspandert leire)
- B) sand
- C) sement
- D) flyveaske
- E) vann/tilsetningsstoffer

Produksjonen foregår i blokkfabrikker med hoveddelene:

- mottak/silleanlegg
- blandemaskin
- herdekammer
- lagring

Produksjonen av lettklinkerblokker er underlagt offentlig kontroll gjennom Kontrollrådet for betongprodukter. Lettklinkerblokker kan fremstilles med ulike densiteter og fastheter. Dimensjonsmessig finnes blokker med tykkelse fra 7,5 cm til 33 cm på det norske markedet i dag.

Råmaterialene:

- A) Lettklinker produseres etter et enkelt prinsipp. Vanlig norsk leire mates inn i en lang roterende ovn og kommer ut i den andre enden som ekspanderte kuler.

De viktigste elementene i produksjonsprosessen er:

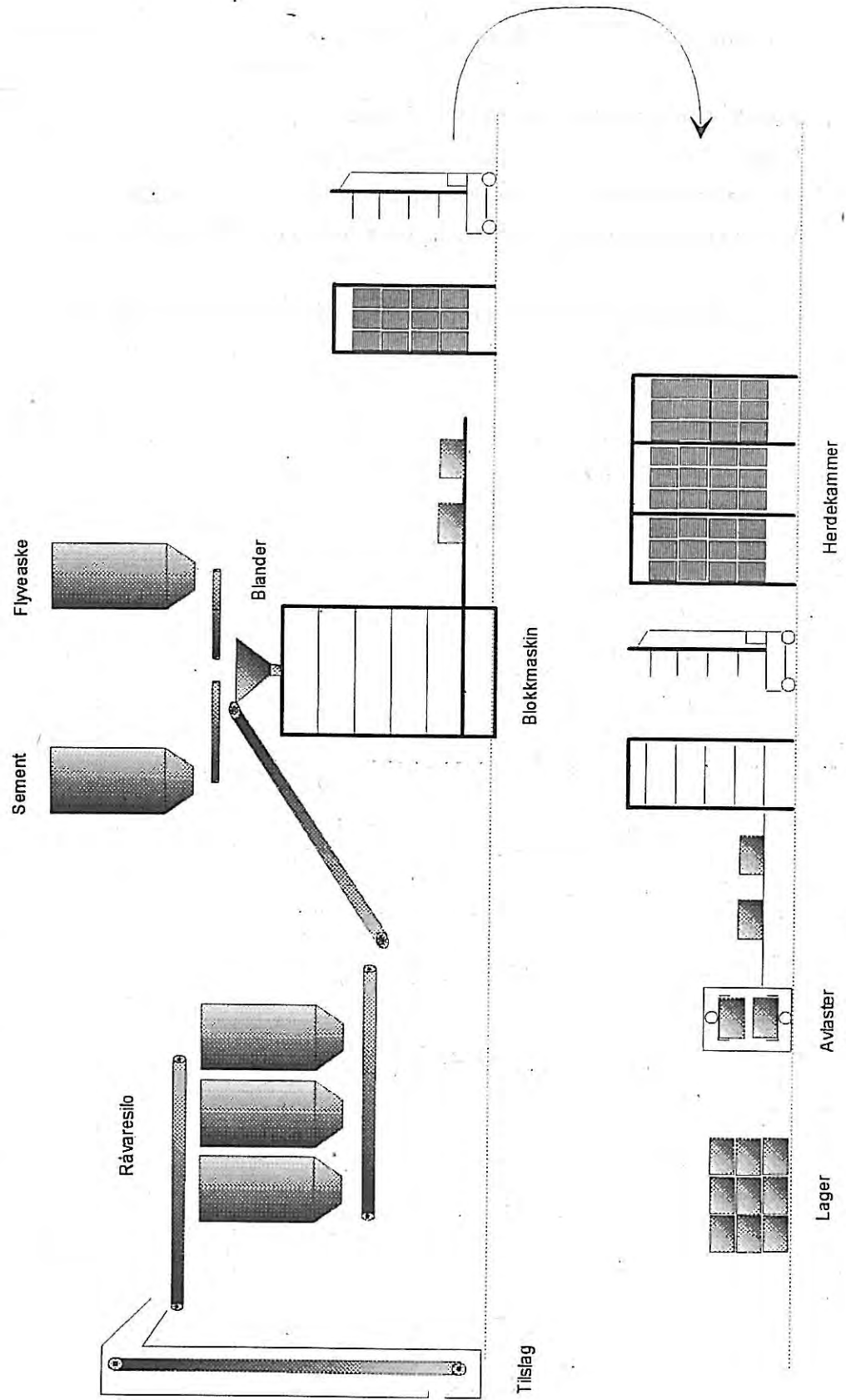
- uttak av leire
- bearbeiding med tilsetning av sulfittlut
- innmating av leire i roterovn
- tørking, knusing og ekspansjon av leiren i roterovnen under temperatur økende til ca. 1200 °C i ovns brennsone. Herunder innblanding av kalk i brennsone for spesielle kvaliteter. Brennstoff: kull/spillolje/eventuelt avfall
- sikting og sortering i ulike fraksjoner
- røkgassene går igjennom et avansert og effektivt renseanlegg hvor støvet føres tilbake til prosessen.

- områder hvor leireutvinningen er avsluttet, tilbakeføres til jordbruksformål.

- B) Sanden som benyttes er finsand - natursand.
- C) Sementen er modifisert Portland ev. Rapid fra Norcem a.s.
- D) Flyveaske (avfall fra SiO_2 -produksjonen ved kullfyrte elanlegg)
- E) Vann (Tilsetningsstoffer benyttes ikke for ordinære lettklinkerblokker)

Transport til forbruker er 25 km med bil og 550 km med båt [54].

PRODUKSJONSPROSSE LETTKLINKERBLOKK



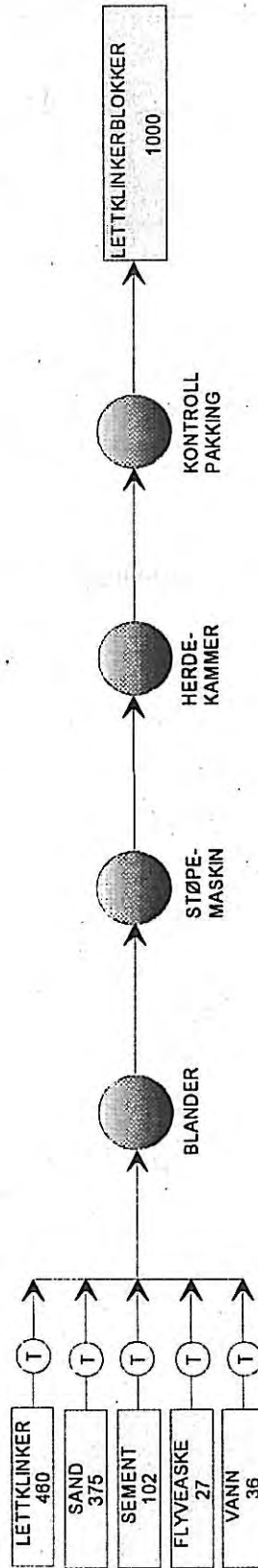
Figur 32
 Produksjonsprosess ved fremstilling av lettklinkerblokker

MATERIALFLYT

PRODUKSJON LETTKLINKER-BLOKKER

(T) Utvinning, fremstilling og transport av råmaterialer

ALLE TALL I KG



Figur 33.

Produksjon av lettklinkerblokker - materialflyt

LETTKLINKER-BLOKKER 1994	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
Transport	0,0	0,2	0,2	12	0,1	0,2	0,0
Lettklinker	0,2	1,1	1,3	115	0,2	0,0	0,1
Sand	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
Sement	0,1	0,4	0,4	86	0,0	0,2	0,0
Flyveaske	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
Vann	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
Produksjon blokker	0,0	0,2	0,2	13	0,3	0,0	0,0
Transport	0,0	0,1	0,1	8	0,0	0,1	0,0
TOTALT	0,3	1,9	2,2	234	0,7	0,5	0,1

Tabell 24

Energiforbruk og utslipp ved tilvirkning av lettklinkerblokker

5 ANDRE MATERIALER

Dette er materialer som i en eller annen utstrekning inngår i de fleste bygg. Normalt utgjør de bare små vektandeler av et bygg, men de har relativt store miljøbelastninger. Enkelte av materialene har spesifisert transportdelen, for andre er denne ukjent. Tallene i tabellene kan være beheftet med meget stor usikkerhet anvendt for norske forhold.

5.1 GULVBELEGG

Tabellene 25, 26, 27 og 28 er hentet fra en Hollandsk undersøkelse [60] [86] hvorav den første henvisningen tar hensyn til produksjon av elektrisitet fra avfallet. I tabell 25 er ikke denne produksjonen tatt med.

Gulvbelegg utgjør under 1% av de totale massene i et bygg.

LINOLEUM	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	EI MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
TOTALT	4,6	11,4	16,0	1025	1,5	3,8	13,5

* Brennverdien er tatt med i fossilt energiforbruk.

Tabell 25 Linoleum - vekt 2440 kg/m²

VINYL	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	EI MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
TOTALT*	15,0	53,4	68,4	2778	3,5	5,3	11,5

* Brennverdien er tatt med i fossilt energiforbruk.

Tabell 26

Vinyl - vekt 3320 kg/m²

POLYAMID	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	EI MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Stov g/kg
TOTALT*	1,6	82,1	83,6	3486	1,8	29,8	40,6

* Brennverdien er tatt med i fossilt energiforbruk.

Tabell 27

Polyamid - vekt 4740 kg/m²

TEPPE (ULL)	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
TOTALT*	1,3	29,1	30,4	1712	5,3	53,3	34,7

* Brennverdien er tatt med i fossilt energiforbruk.

Tabell 28

Teppe - vekt 4020 kg/m²

5.2 SPARKEL

Sparkel er et produkt som består av sement (35 %), plaststoffer (5 %) og resten er sand, flyveaske/slagg og gips. Transport fra sandtak til produsent er 120 km og fra produsent til byggeplass er den også antatt å være 120 km.

SEMENTBASERT SPARKEL	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Sement	0,2	1,2	1,4	303	0,1	0,7	0,1
Tørking av sand		0,1	0,1	8	0,0	0,1	0,0
Plast	0,6	3,8	4,3	257	1,5	0,7	0,1
Transport		0,4	0,4	31	0,0	0,5	0,0
TOTALT	0,8	5,5	6,3	599	1,7	2,0	0,2

Tabell 29

Sementbasert sparkel

5.3 PAPP

Tabell 30 er basert på produksjon av wellpapp til emballasje [84], og er derfor ikke helt representativ for den type papp som anvendes i bygg. Papp utgjør imidlertid under 0,1 % av massene i et bygg.

PAPP (wellpapp)	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
TOTALT	4,8	17,0	21,8	17,9	310	0,3	2,1

Tabell 30

Papp

5.4 ASFALT

Asfaltproduksjonen er hentet fra en Hollandsk undersøkelse [24], og det er antatt at forholdene ved produksjon i Norge vil være noenlunde lik.

ASFALT	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
TOTALT	0,0	0,3	0,3	35	0,1	0,1	0,0

Tabell 31

Asfalt

5.5 TEGL

Teglproduksjon er basert på norske forhold, men mangler intertransport av råmaterialer og håndtering av disse før produksjon [30].

TEGL	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El MJ/kg	Fossilt MJ/kg	Totalt MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ g/kg	NO _x g/kg	Støv g/kg
Transport	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Produksjon	0,0	2,1	2,1	157,7	0,1	2,5	0,2
Transport til forbruker		0,1	0,1	7,8	0,0	0,1	0,0
Byggeplass	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTALT	0,0	2,2	2,2	165,5	0,2	2,6	0,2

Tabell 32

Tegl

5.6 POLYSTYREN

Tallene i tabellene 33 og 34 er basert på opplysninger fra Plastindustriforbundet [89] og usikkerheten kan være stor. Polystyren utgjør imidlertid en liten del (under 0,2 %) av de totale massene i et bygg.

EKSPANDERT POLYSTYREN								
	Energiforbruk			Utslipp til luft				
	El	Fossilt	Totalt	CO ₂	SO ₂	NO _x	Stov	
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	
TOTALT	7,5	67,6	75,1	5412	32,8	12,5	2,8	

Tabell 33
Ekspandert polystyren

EKSTRUDERT POLYSTYREN								
	Energiforbruk			Utslipp til luft				
	El	Fossilt	Totalt	CO ₂	SO ₂	NO _x	Stov	
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	
TOTALT	7,2	65,2	72,4	6151	37,3	14,2	3,2	

Tabell 34
Ekstrudert polystyren

5.7 MALING

Tallene i tabell 35 er hentet fra en undersøkelse Østfoldforskningen har gjort [68].

MALING	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El	Fossilt	Totalt	CO ₂	SO ₂	NO _x	Stov
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
TOTALT	4,6	8,0	12,6	1365,0	6,0	2,5	0,8

Tabell 35
Oljebasert maling

5.8 PORSELEN

Tallene i tabell 36 kommer fra Porsgrunn Bad [71] og inneholder tørking og brenning. For fliser er det valgt å benytte de samme tallene.

PORSELEN	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El	Fossilt	Totalt	CO ₂	SO ₂	NO _x	Støv
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
TOTALT	7,0	6,0	13,0	391		0,3	

Tabell 36
Porselen og fliser

5.9 KOBBER

Tallene for kobber i tabell 37 er 20 år gamle tall fra en undersøkelse om energiforbruk til fremstilling av byggematerialer [4]. Tallene er meget usikre, og de er korrigert betydelig med tanke på dagens teknologi. Kobber utgjør en liten del (under 0,2 %) av de totale massene i et bygg. Tallene er basert på 50 % kobber fra skrot.

KOBBER	ENERGIFORBRUK			UTSLIPP TIL LUFT			
	El	Fossilt	Totalt	CO ₂	SO ₂	NO _x	Støv
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
TOTALT	2,3	15,9	18,2	1267	0,5	6,5	0,4

Tabell 37
Kobber

6 BYGNINGER

For å vurdere virkningen av bruken av de forskjellige materialene som inngår i et bygg, er det satt opp et energi- og miljøregnskap for forskjellige typer bygninger. En har valgt å se på tre eksisterende boliger og to større kontorbygg. For boligene er det valgt en liten og en stor bolig i bindingsverk av tre med sokkeletasje i lettklinkerblokker og kjellergulv i betong, samt en liten enebolig oppført i lettklinkerblokker med tilsvarende sokkeletasje som for trehusene. De minste boligene representerer typiske husbankstørrelser. Valget av en stor enebolig i tre som er av samme type som den minste treboligen, er for å se, hvilken virkning størrelsen av boligen har på resultatet uttrykt ved funksjonell enhet. Både boligene og kontorbyggene representerer dagens teknologi uten at det er tatt spesielle hensyn til valg av materialer eller løsninger.

For kontorbyggene er det ett bygg av bærende stålkonstruksjon, mens det andre er et plasstøpt betongbygg.

6.1 TIDSASPEKT - LEVETIDER

Tidsperspektivet ved en livsløpsanalyse begrenses av de kunnskapene en har om virkningen av de forskjellige miljøutslippene. Virkningene av utslippene av klimagassene metan (CH_4) og kulldioksid (CO_2) vil over tid være forskjellig. Metan absorberer langbølget stråling mer effektivt enn kulldioksid, mens den atmosfæriske oppholdstiden til metan bare er ca. 1/10 av oppholdstiden til kulldioksid. Virkningen av disse to gassene vil derfor være avhengig av mengden som slippes ut, og hvilket tidsrom virkningen vurderes over. Bygninger har en lang levetid sammenliknet med andre produkter, og valget av materialer og

konstruksjonsløsninger vil være med på å bestemme den fysiske levetiden. En stor del av de boligene som bygges i Norge, er oppført med tre som hovedmateriale. En trekonstruksjon er lettere å utbedre og forandre enn om andre materialer var blitt brukt.

Det er vanskelig å forutse i dag hvilken oppvarmingsform et bygg vil ha om 50 år, eller hvordan avfallet fra rivingen av bygget håndteres om 50 - 100 år. Levetiden for et produkt er tiden fra produktet tilvirkes til det kasseres. Valg av tidsperspektiv og levetid vil i de fleste sammenhengene ha direkte innvirkning på resultatet av en livsløpsanalyse. Levetiden for bygningskomponenter er ikke noe entydig begrep, idet vedlikeholdet påvirker levetiden. En skiller mellom bygningers, komponenters og det enkelte materials levetid. Levetiden påvirkes av mange faktorer som materialtekniske egenskaper, design, utførelse, miljøpåkjenning og vedlikehold. Når nedbrytningen starter og egenskapene forringes, vil en nå en grense hvor en må iverksette tiltak. Kravet til levetid defineres ut fra at estetiske, funksjonelle eller tekniske grenser er nådd.

I dette prosjektet benyttes levetid med utgangspunkt i "normal" fysisk levetid for bygningsdeler og komponenter.

Følgende intervaller for utskifting/vedlikehold benyttes [10]:

Bygningsdel	Intervall år	Bygningsdel	Intervall år
Grunnmur Bygningsstamme	50	INNVENDIG	
UTVENDIG		Gulvbelegg tekstil/vinyl	10
Vinduer	35	Gulvbelegg linoleum	15
Dører i tre	20	Fliser	40
Utvendige trepaneler	40	Dører	40
Takrenne og beslag i plast	20	VVS INSTALLASJONER	
Takrenne og beslag i stål	20	Kjeler	15
Takrenne og beslag i kobber	30	Radiatorer	30
Takstein tegl	35	Rørledninger i stål	30
Takstein betong	40	Rørledninger i kobber	30
Maling trevegg	7	Rørledninger i plast	20
Maling mur	7	Vifter	10
		Kanalsystem	20
		Elanlegg	30

Tabell 38
Utskiftingsintervaller

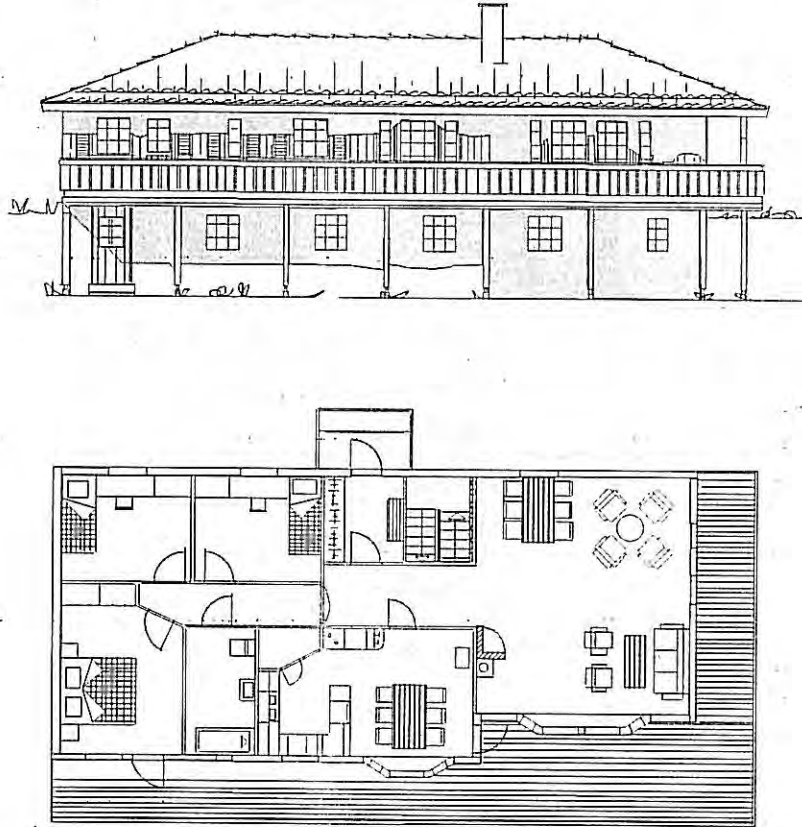
Det er valgt å benytte en levetid på 50 år for bygget, selv om den reelle levetiden på den bærende konstruksjonen sannsynligvis vil være mye lengre. Dette fordi kravene til bygg forandres mye raskere nå enn tidligere, og CEN/TC88/WG2 har i arbeidet med miljømerking av isolasjonsmaterialer og i standardiseringssammenheng satt 50 år som minimum driftstid for boliger.

I masseberegningen for de forskjellige byggene er det tatt hensyn til utskiftingen av de forskjellige komponentene i bygget etter tabell 38. I tillegg er det i masseberegningene regnet med kapp og svinn på 5 % for trematerialer [59] og 3 % for betong [11]. For de øvrige materialene er det antatt et kapp/svinn på 5 %.

Malingforbruket på trepaneler er satt 30 % høyere enn for glatte murvegger.

6.2 STOR ENEBOLIG I TRE

Den store eneboligen i tre er et ferdighus fra Anebyhus AS med bi-leilighet i underetasjen. første etasje er utført i bindingsverk av tre mens sokkeletasjen er utført med grunnmur i lettklinkerblokker isolert med 100 mm mineralull i oppholdsrom og grunnmursplate mot terreng. Fundament og dekke er i betong. Under dekket er det isolert med 50 mm polystyren.



Figur 34
Stor enebolig i tre

Bebygd areal er 125 m² og totalt gulvflate er 235 m². Ventilasjonssystemet er balansert ventilasjon med varmegjenvinner med virkningsgrad 60 %.

U-verdier for boligen er:

U_{gulv}	=	0,16 W/m ² K	U_{vindu}	=	2,00 W/m ² K
U_{tak}	=	0,16 W/m ² K	U_{dor}	=	2,00 W/m ² K
U_{vegg}	=	0,26 W/m ² K			

Oppvarmingssystemet for boligen er elektrisk.

6.2.1 MASSEBEREGNING

Masseberegningene for boligen er delt på tre områder: Bærende konstruksjon, interiør som dører, isolasjon og vinduer samt teknisk utstyr. Materialforbruket inneholder kapp, svinn og utskiftninger over en 50-årsperiode.

MATERIALER	BÆRENDE TONN	INTERIØR TONN	TEKNISK TONN	TOTALT TONN
Betong og lettklinker	91,0			91,0
Tre	7,6	26,5		34,1
Gips- og asfaltplater		5,5		5,5
Isolasjon		1,9		1,9
Metaller	0,3	0,5	2,4	3,2
Porselen og fliser		1,4	0,3	1,7
Plast		1,1	0,5	1,6
Glass		0,9		0,9
Papp og maling		0,8		0,8
TOTALT	98,8	38,6	3,1	140,6

Tabell 39

Masser

6.2.2 ÅRLIG ENERGIFORBRUK

Beregning av energiforbruk for første etasje og sokkel er utført med programmer som regnes etter reglene i NS 3031, 3032 og 3201. I tillegg er det regnet med et varmtvannsforbruk på 3500 kWh/år.

	MJ/m ² år
Oppvarming	309
Ventilasjon	95
Infiltrasjon	99
Varmtvann	54
Belysning	94
Utstyr	85
Gratis varme(sol, personer)	-273
Energiforbruk	464

Tabell 40.

Beregnet energiforbruk

Energiforbruket over en 50 årsperiode vil være 23190 MJ/m².

6.2.3 ENERGI- OG MILJØREGNSKAP

Energi- og miljøregnskap omfatter den bærende konstruksjon, interiøret, det teknisk utstyret og hele boligen. Dette regnskapet dekker kapp, spill og utskiftninger over en 50-årsperiode. Oppvarming og riving/bortkjøring er ikke regnet med.

	Masser tonn	El MJ	Fossilt MJ	Totalt MJ	Brennv. MJ	CO ₂ kg	SO ₂ kg	NO _x kg	Stov kg
Bærende	99	18295	99478	117773	120514	14898	27	47	6
Interiør	39	79050	142940	221990	417706	8551	20	72	8
Teknisk	3	11372	39164	50536	12845	2052	4	5	3
Totalt	141	108718	281582	390300	551064	25500	51	124	16
	kg/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
Spesifikt (totalt)	598	463	1198	1838	2345	108512	219	529	69

Tabell 41

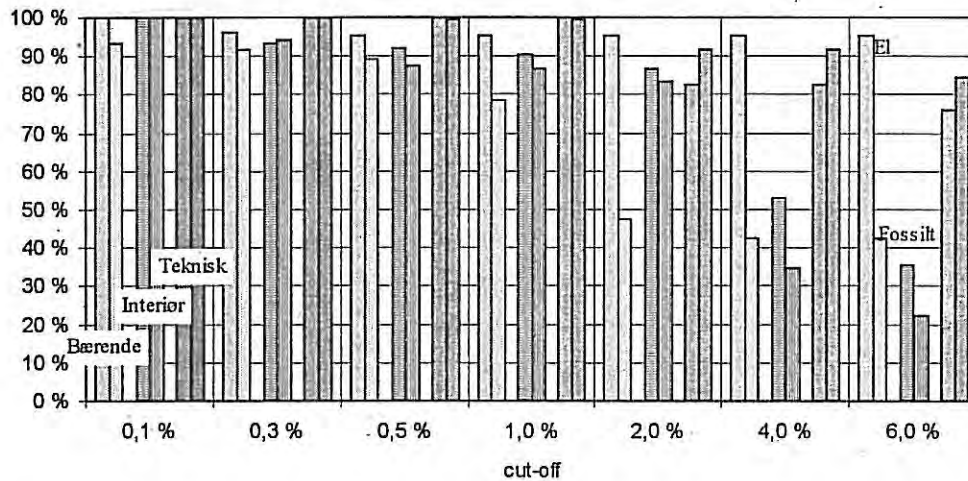
Energi- og miljøregnskap - stor enebolig i tre

Beregningene viser at den bærende konstruksjonen utgjør vel 70 % av byggets totale vekt, og for denne boligen er det interiøret som utgjør det største energiforbruket. Relativt til vekten bidrar imidlertid det tekniske utstyret betydelig mer enn både den bærende konstruksjonen og interiøret. Utslippet av f.eks. CO₂ er ca. 680 kg/tonn for det tekniske utstyret, mens det for den bærende konstruksjon og interiøret bare er henholdsvis 150 kg CO₂/tonn og 220 kg CO₂/tonn.

6.2.4 FØLSOMHET CUT-OFF

De etterfølgende diagrammene viser hvordan forbruket av elektrisitet, fossilt brensel og utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x påvirkes av mengden av de forskjellige massene som inngår i den store boligen av tre.

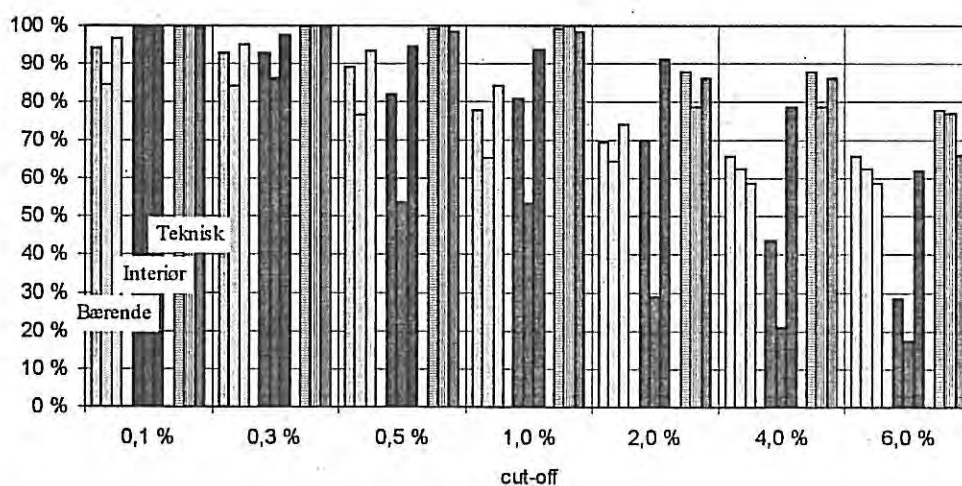
Energiforbruk



Figur 35
Energiforbruk ved forskjellige cut-off

Den første av de to sammenhengende kolonnene viser elforbruket, den andre viser forbruket av fossil energi. Ved en cut-off på 1 %, dvs. hvis alle masser som utgjør minst 1 % av totalmassene for hhv. bærende, interiør og teknisk utstyr sløyfes, vil en kun få med 95 % av elforbruket på de bærende konstruksjoner, mens bare 78 % av den fossile energien fanges opp.

Ved 2 % cut-off vil en kun fange opp 50 % av den fossile energien.

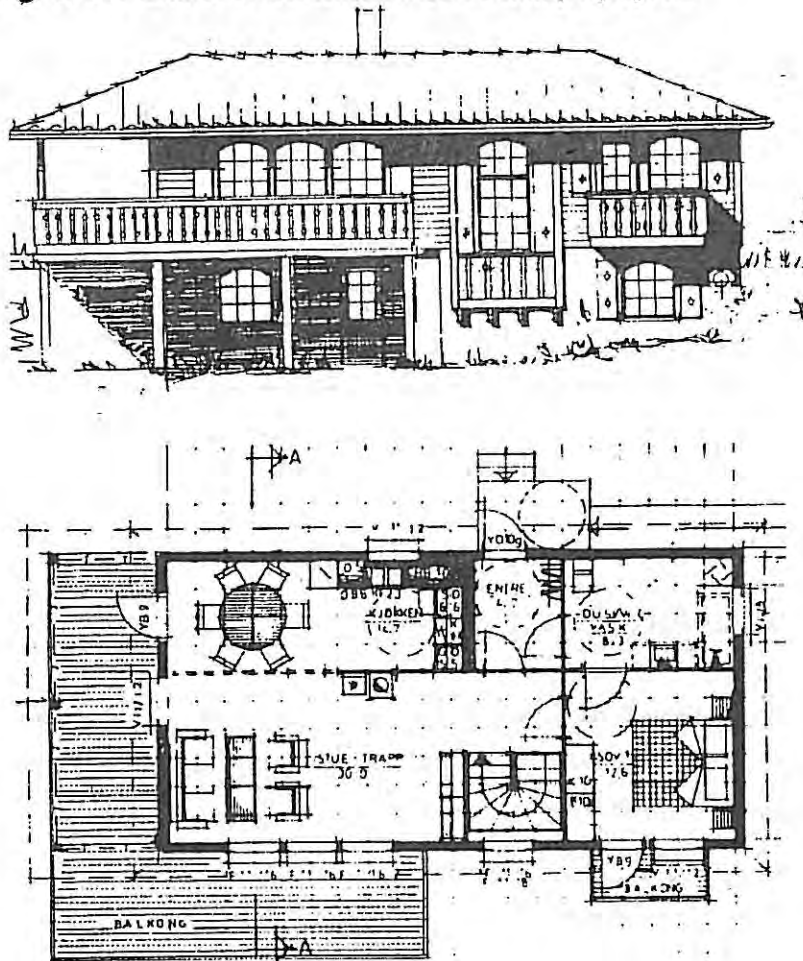
Utslipp av CO₂, SO₂ og NO_x

Figur 36
Utslipp ved forskjellige cut-off

Figur 36 viser utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x fordelt på bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr. Ved en cut-off på 2 % får en bare med 70 % av CO₂ utslippene, 29 % av SO₂ utslippene og 92 % av NO_x utslippene for interiøret, mens tilsvarende tall for den bærende konstruksjonen ligger mellom 65 og 70 %.

6.3 LITEN ENEBOLIG I TRE

Den lille eneboligen i tre er et ferdighus fra Anebyhus AS. Første etasje er utført i bindingsverk av tre mens sokkeletasjen er utført med grunnmur i lettklinkerblokker isolert med 100 mm mineralull i oppholdsrom og grunnmursplate mot terreng. Fundament og dekke er i betong. Under dekket er det isolert med 50 mm polystyren.



Figur 37
Liten enebolig i tre

Bebyggt areal er 73 m² og totalt gulvflate er 135 m². Ventilasjonssystemet er balansert ventilasjon med varmegjenvinner med virkningsgrad 60 %.

U-verdier for boligen er:

$$\begin{array}{ll}
 U_{\text{gulv}} = 0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K} & U_{\text{vindu}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \text{ K} \\
 U_{\text{tak}} = 0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K} & U_{\text{dor}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \text{ K} \\
 U_{\text{vegg}} = 0,26 \text{ W/m}^2 \text{ K} &
 \end{array}$$

Oppvarmingssystemet for boligen er elektrisk.

6.3.1 MASSEBEREGNINGER

Masseberegningene for boligen er delt på tre områder: Bærende konstruksjon, interiør, dører, isolasjon og vinduer samt teknisk utstyr. Materialforbruket inneholder kapp, svinn og utskifting over en 50-årsperiode.

MATERIALE	BÆRENDE TONN	INTERIØR TONN	TEKNISK TONN	TOTALT TONN
Betong og lettklinker	65,0			65,0
Tre	5,4	18,4		23,8
Gips- og asfaltplater		0,5		0,5
Isolasjon		1,1		1,1
Metaller	0,2	0,3	0,5	1,0
Porselen og fliser		1,0	0,3	1,3
Plast		0,6	0,4	1,0
Glass		0,6		0,6
Papp og maling		0,4		0,4
TOTALT	70,6	22,7	1,2	94,6

Tabell 42.

Masser

6.3.2 ÅRLIG ENERGIFORBRUK

Beregning av energiforbruk for første etasje og sokkel er utført med programmer som regner etter reglene i NS 3031, NS 3032 og NS 3201. I tillegg er det regnet med et varmtvannsforbruk på 3500 kWh/år.

	MJ/m ² år
Oppvarming	370
Ventilasjon	96
Infiltrasjon	92
Varmtvann	93
Belysning	94
Utstyr	85
Gratis varme(sol, personer)	-297
Energiforbruk	534

Tabell 43.

Beregnet energiforbruk

Energiforbruket over en 50 årsperiode vil være 26720 MJ/m².

6.3.3 ENERGI- OG MILJØREGNSKAP

Energi- og miljøregnskapet er regnet ut for den bærende konstruksjon, interiøret, det teknisk utstyret og hele boligen. Dette regnskapet dekker kapp, spill og utskiftninger over en 50-årsperiode. Oppvarming og riving/bortkjøring er ikke med.

	Masser tonn	El MJ	Fossilt MJ	Totalt MJ	Brennv. MJ	CO ₂ kg	SO ₂ kg	NO _x kg	Støv kg
Bærende	71	14311	79005	104543	86099	11349	23	34	4
Interiør	23	46964	71466	132470	273880	4149	9	31	3
Teknisk	1	7226	23096	32789	9819	883	1	2	1
Totalt	95	68502	173567	269802	369798	16380	33	67	8
	kg/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
Spesifikt (totalt)	701	507	1286	1999	2730	121352	247	497	62

Tabell 44

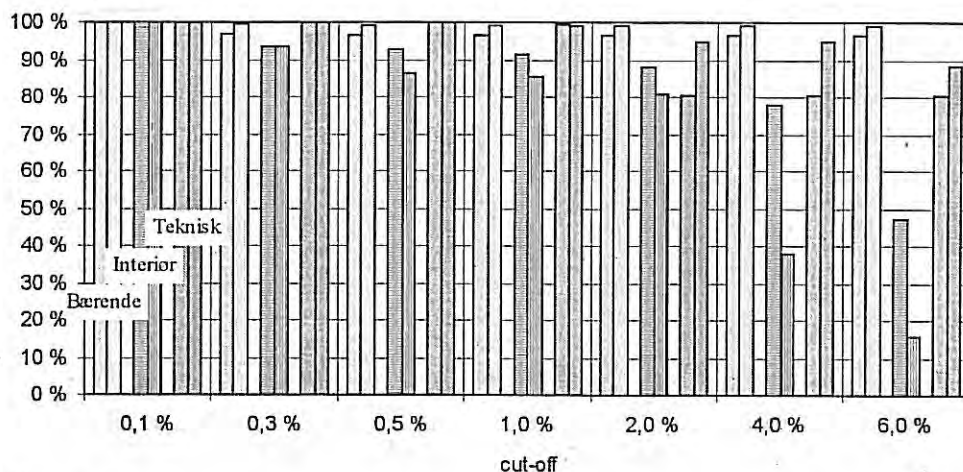
Energi- og miljøregnskap - liten enebolig i tre

Beregningene viser at den bærende konstruksjonen utgjør mer enn 75 % av byggets totale vekt, men interiøret er allikevel den delen som har det største energiforbruket. Relativt til vekten bidrar det tekniske utstyret betydelig mer enn både den bærende konstruksjonen og interiøret. Utslippet av f.eks. CO₂ er 800 kg/tonn for det tekniske utstyret, mens det for den bærende konstruksjon og interiør bare er ca. 170 kg CO₂/tonn.

6.3.4 FØLSOMHET CUT-OFF

De etterfølgende diagrammer viser hvordan forbruket av elektrisitet, fossilt brensel og utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x påvirkes av hvor mye en tar med av de forskjellige massene som inngår i den lille boligen av tre.

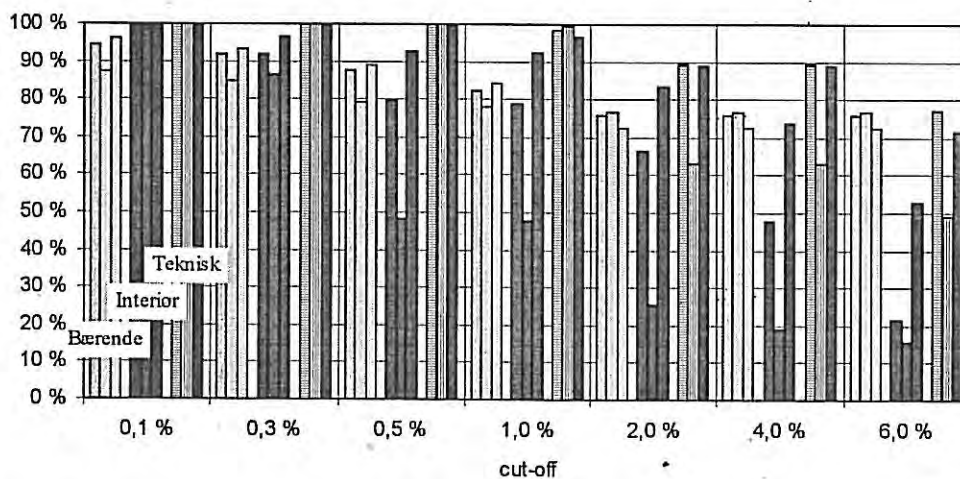
Energiforbruk



Figur 38

Energiforbruk ved forskjellige cut-off

Den første av de to sammenhengende kolonnene viser elforbruket, den andre viser forbruket av fossil energi. Ved en cut-off på 1 % , dvs. hvis alle masser som utgjør minst 1 % av totalmassene for hhv. bærende, interiør og teknisk utstyr sløyfes, vil en få med over 97 % av både elforbruket og det fossile energiforbruket på de bærende konstruksjoner. Mellom 8 og 15 % av energiforbruket vil bli borte hvis en sløyfer alle masser som utgjør mindre enn 1 % av interiøret.

Utslipp av CO₂, SO₂ og NO_x

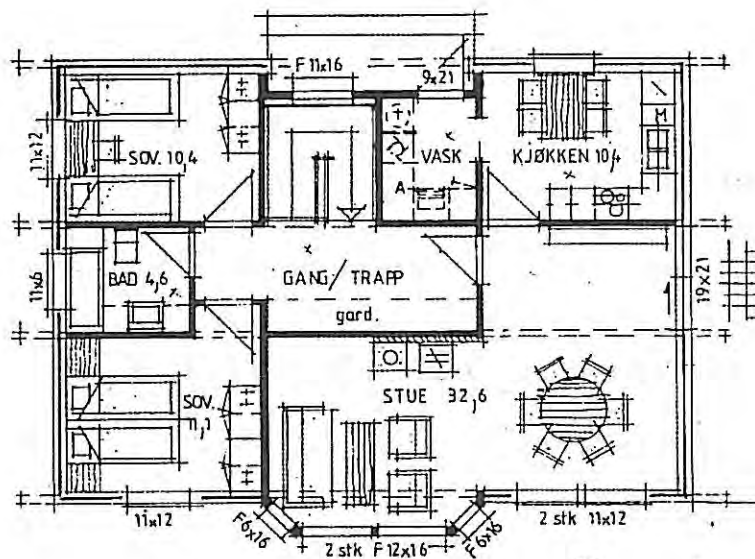
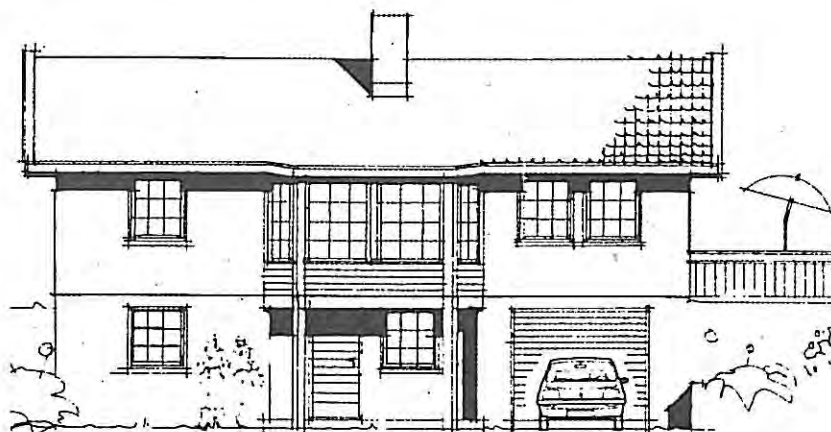
Figur 39

Utslipp ved forskjellige cut-off

Figur 39 viser utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x fordelt på bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr. Ved en cut-off på 0,5 % vil en bare få med 80 % av CO₂ utslippene, 48 % av SO₂ utslippene og 93 % av NO_x utslippene for interiøret, mens tilsvarende tall for den bærende konstruksjonen ligger mellom 78 og 88 %.

6.4 LITEN ENEBOLIG I LETTKLINKER - BLOKKER

Den lille eneboligen i lettklinkerbetong har første etasje utført i lettklinkerblokker og bindingsverk av tre, mens sokkeletasjen er utført med grunnmur i lettklinkerblokker isolert med 100 mm mineralull i oppholdsrom og grunnmursplate mot terreng. Fundament og dekke er i betong. Under dekket er det 50 mm polystyren.



Figur 40

Liten enebolig i lettklinker

Bebygd areal er 95 m² og total gulvflate er 140 m². Ventilasjonssystemet er balansert ventilasjon med varmegjenvinner med virkningsgrad 60 %.

U-verdier for boligen er:

U_{gulv}	=	0,16 W/m ² K	U_{vindu}	=	2,00 W/m ² K
U_{tak}	=	0,16 W/m ² K	$U_{\text{dør}}$	=	2,00 W/m ² K
U_{vegg}	=	0,29 W/m ² K			

Oppvarmingssystemet i boligen er gulvvarme (Wirsbo) med urstyring og romtermostat i hvert rom. Varmekilden er en Ferro Modul T 300 EK 14/14 med elektrisk varmepatron. Vegg mellom garasje og bolig er ikke isolert.

6.4.1 MASSEBEREGNINGER

Masseberegningene for boligen er delt i tre områder: Bærende konstruksjon, interiør, dører, isolasjon og vinduer samt Teknisk utstyr. Materialforbruket inneholder kapp, svinn og utskiftninger over en 50-årsperiode.

MATERIALE	BÆRENDE TONN	INTERIØR TONN	TEKNISK TONN	TOTALT TONN
Betong og lettklinker	124,4			124,4
Tre	3,1	10,6		13,7
Gips- og asfaltplater		2,5		2,5
Isolasjon		0,7		1,1
Metaller	0,4	0,3	0,9	1,5
Porselen og fliser		1,3	0,2	1,5
Plast		0,5	2,1	0,7
Diverse				1,6
Glass		0,7		0,7
Papp og maling		0,5		0,5
TOTALT	127,9	17,0	3,2	148,1

Tabell 45

Masser

6.4.2 ÅRLIG ENERGIFORBRUK

Beregning av energiforbruk er for første etasje og sokkel utført med programmer som regner etter reglene i NS 3031, NS 3032 og NS 3201. I tillegg er det regnet med et varmtvannsforbruk på 3500 kWh/år.

	MJ/m ² år
Oppvarming	389
Ventilasjon	79
Infiltrasjon	82
Varmtvann	80
Belysning	94
Utstyr	85
Gratis varme(sol, personer)	-291
Energiforbruk	518

Tabell 46

Beregnet energiforbruk

Sett over en 50-årsperiode vil energiforbruket være 25915 MJ/m².

6.4.3 ENERGI- OG MILJØREGNSKAP

Energi- og miljøregnskap omfatter den bærende konstruksjon, interiøret, det teknisk utstyret og hele bygget. Dette regnskapet dekker kapp, spill og utskiftninger over en 50-årsperiode. Oppvarming og riving/bortkjøring er ikke med.

	Masser tonn	El MJ	Fossilt MJ	Totalt MJ	Brennv. MJ	CO ₂ kg	SO ₂ kg	NO _x kg	Støv kg
Bærende	128	24312	150071	180694	48391	21673	45	59	8
Interiør	17	39058	80118	127557	188696	4696	13	32	3
Teknisk	3	21322	123404	165148	62087	8289	41	21	5
Totalt	148	84692	353593	473398	299200	34659	98	112	16
	kg/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
Spesifikt (totalt)	1050	600	2520	3380	2130	247596	701	799	115

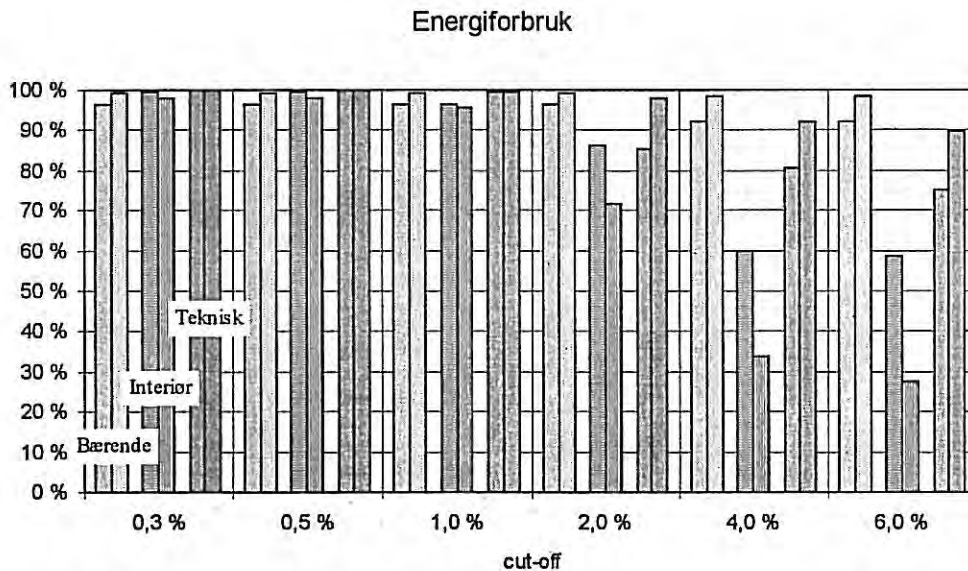
Tabell 47

Energi- og miljøregnskap - liten enebolig i lettklinkerblokker

Beregningene viser at den bærende konstruksjonen utgjør mer enn 85 % av byggets totale vekt og er for denne boligen den delen som totalt sett har det største energiforbruk og de største utslipp. Relativt til vekten bidrar imidlertid det tekniske utstyret betydelig mer enn både den bærende konstruksjonen og interiøret hvor utslippet av f.eks. CO₂ er ca. 2630 kg/tonn for det tekniske utstyret, mens det for den bærende konstruksjonen og interiøret bare er henholdsvis ca. 180 kg CO₂/tonn og ca. 230 kg CO₂/tonn

6.4.4 FØLSOMHET CUT-OFF

De etterfølgende diagrammer viser hvordan forbruket av elektrisitet, fossilt brensel og utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x påvirkes av hvor mye en tar med av de forskjellige massene som inngår i boligen av lettklinkerblokker.

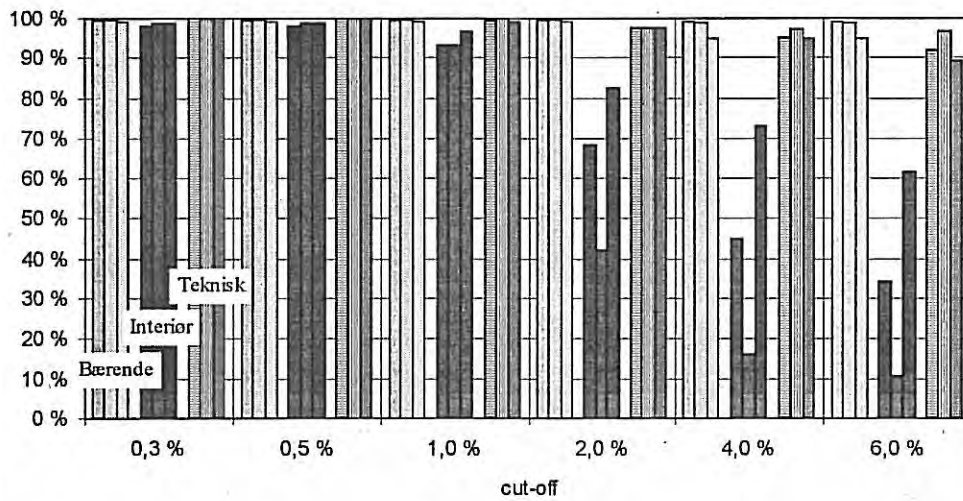


Figur 41

Energiforbruk ved forskjellige cut-off

Den første av de to sammenhengende kolonnene viser elforbruket, den andre viser forbruket av fossil energi. Ved en cut-off på 2 %, dvs. hvis alle masser som utgjør 2 % av totalmassene for hhv. bærende, interiør og teknisk utstyr sløyfes, vil en kun få med seg 95 % av elforbruket på de bærende konstruksjoner, mens bare 85 % av elforbruket på interiør og teknisk utstyr fanges opp.

Tilsvarende for det fossile energiforbruket, vil en miste 30 % av forbruket av fossil energi på interiørdelen, mens for bærende og teknisk utgjør det lite.

Utslipp av CO₂, SO₂ og NO_x

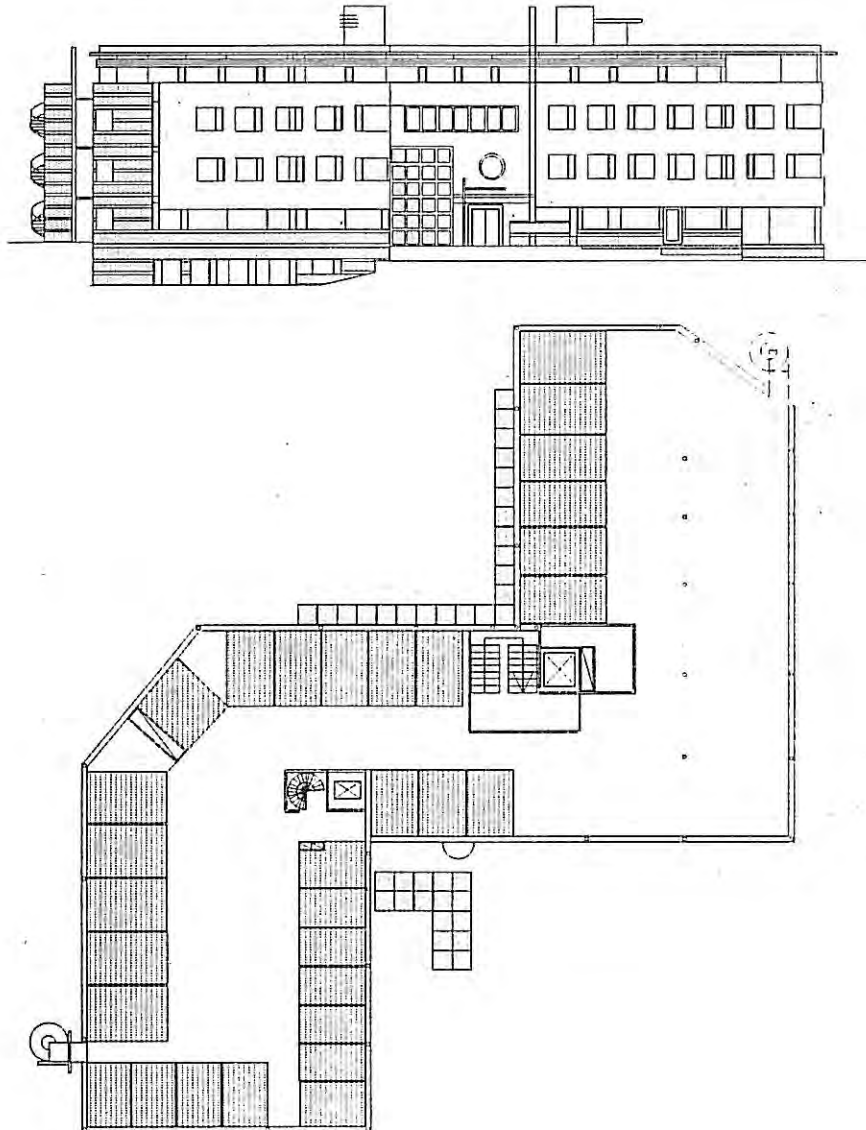
Figur 42

Utslipp ved forskjellige cut-off

Figuren viser utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x fordelt på bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr. Ved en cut-off på 2 % får en bare med 68 % av CO₂ utslippene, 42 % av SO₂ utslippene og 83 % av NO_x utslippene for interiøret.

6.5 KONTORBYGG I STÅL

Kontorbygget har i alt 7 etasjer, hvorav 2 parkeringskjellere under bakken og 5 kontor-etasjer over. Grunnflaten i underetasjene, dvs de 3 nederste, er hver ca. 2200 m², mens grunnflaten i de øvrige kontorfløyene er hver ca. 1200 m². Totalarealet er ca. 11000 m².



Figur 43
Kontorbygg i stål

Bunnplate, kjellervegger under grunnvannstand og mot jord samt tilfluktsrom er utført i plasstøpt betong.

Hovedbæresystemet, inkludert trappe-, heissjakter og vindavstivning består av stålsøyler og bjelker med dekker av 265 mm forspente hulldekker. På enkelte partier med oppfylling over dekkene benyttes 400 mm forspente hulldekker.

Til innvendige søyler benyttes HUP 200 x 200, mens enkelte av de mest belastede søylene i kjelleretasjen er HUP 250 x 250. I fasadene benyttes generelt søyler av HUP 200 x 100, men til enkelte hardt belastede søyler er det HUP 250 x 150.

Innvendige bjelker er ISQ-bjelker som skjules i dekket slik at det kun er underflensens tykkelse på maks 20 mm som vil stikke under hulldekket. Det er enkelte bjelker som bygger ned ca. 120 mm under hulldekket pga. behovet for større stivhet som følge av lange spenn.

I fasadene er det underliggende bjelker av IPE-profiler, eventuelt oppsveiste I-profiler.

Fasadematerialet er forblendet teglstein. Der det er behov for det, er det innlagt stål for vertikal bæring og horisontal avstivning av teglet. Takkonstruksjonen i kantinen består av korrugerte stålplater TRP-111 og underliggende IPE-profiler.

Komplett VVS-anlegg omfatter følgende:

- innvendig sanitæranlegg
- sprinkelanlegg
- støvsugeranlegg
- luftkjøleanlegg
- kjøleanlegg
- kjøletaksanlegg
- kjøle og fryserom
- luftbehandlingsanlegg
- automatikk og tavler

U-verdi vegg og tak 0,3 w/m² °C

U-verdi vindu 2,0 w/m² °C

Det er montert 2 heiseanlegg i bygget. Kontorbygget er elektrisk oppvarmet.

6.5.1 MASSEBEREGNINGER

Masseberegningene for kontorbygget er delt på tre områder: Bærende konstruksjon, interiør, dører, isolasjon og vinduer samt teknisk utstyr. Materialforbruket inneholder kapp, svinn og utskifting over en 50-årsperiode.

MATERIALER	BÆRENDE TONN	INTERIØR TONN	TEKNISK TONN	TOTALT TONN
Betong, tegl og lettklinker	7549			7549
Tre		87		87
Gipsplater		132		132
Isolasjon		36		36
Metaller	476	61	252	789
Porselen og fliser		26	2	29
Plast		33	14	47
Diverse		276		276
Glass		35		35
Papp og maling		50		50
TOTALT	8025	736	269	9029

Tabell 48

Masser

6.5.2 ÅRLIG ENERGIFORBRUK

Beregning av energiforbruk er utført med programmer som regner etter reglene i NS 3031, NS 3032 og NS 3201.

	MJ/m ² år
Oppvarming	155
Ventilasjon	130
Varmtvann	25
Vifter/pumper	76
Belysning	86
Diverse	68
Kjøling	104
Energiforbruk	644

Tabell 49

Beregnet energiforbruk

Energiforbruket over en 50 årsperiode vil være 32220 MJ/m².

6.5.3 ENERGI- OG MILJØREGNSKAP

Energi- og miljøregnskapet er regnet ut for den bærende konstruksjon, interiøret, det tekniske utstyret og hele kontorbygget. Dette regnskapet dekker kapp, spill og utskiftninger over en 50-års periode. Oppvarming og riving/bortkjøring er ikke med.

	Masser tonn	El MJ	Fossilt MJ	Totalt MJ	Brennv. MJ	CO ₂ kg	SO ₂ kg	NO _x kg	Stov kg
Bærende	8025	708197	5156601	5864797	0	955799	567	3884	327
Interiør	736	1471396	5599109	7302232	2500849	378014	1172	2589	965
Teknisk	269	1341274	2482189	3850799	353639	182979	565	419	380
Totalt	9029	3520867	13237899	17017829	2854488	1516791	2304	6893	1672
	kg/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
Totalt	1251	502	1792	2330	395	208021	309	846	148

Tabell 50

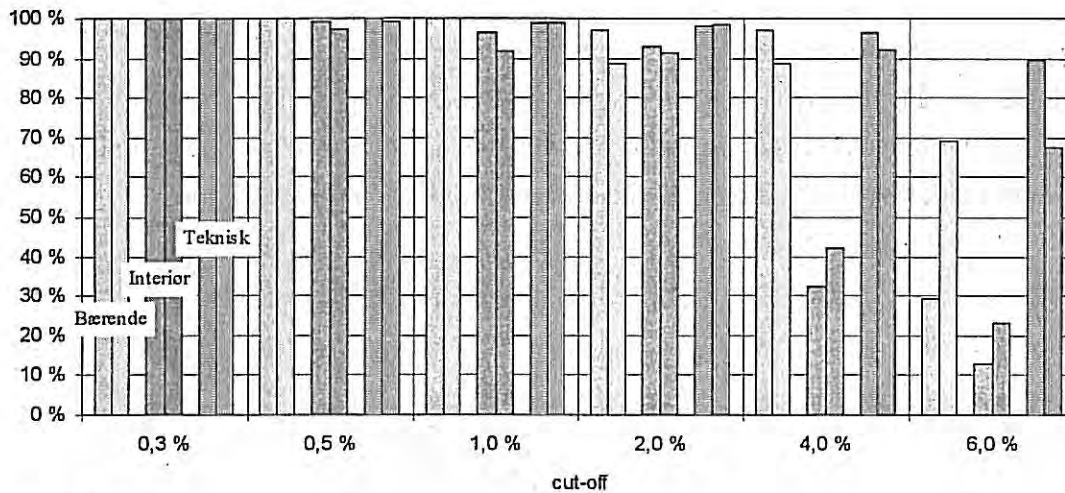
Energi- og miljøregnskap - kontorbygg i stål

Beregningene viser at den bærende konstruksjonen utgjør ca. 89 % av byggets totale vekt, og for dette kontorbygget er det den bærende konstruksjonen som utgjør det største energiforbruket. Relativt til vekten bidrar imidlertid det tekniske utstyret betydelig mer enn både den bærende konstruksjonen og interiøret. Utslippet av f.eks. CO₂ er 680 kg/tonn for det tekniske utstyret, mens det for den bærende konstruksjon og interiøret bare er henholdsvis 120 kg CO₂/tonn og 510 kg CO₂/tonn.

6.5.4 FØLSOMHET CUT-OFF

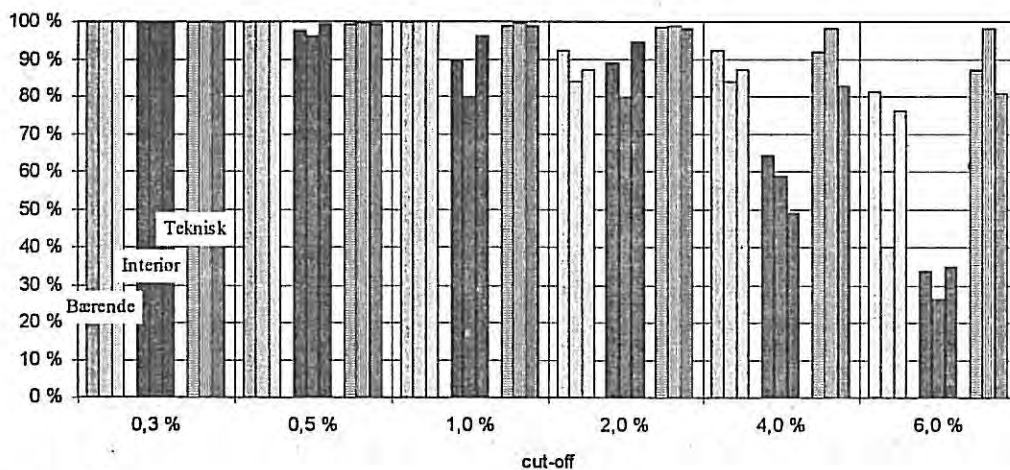
De etterfølgende diagrammene viser hvordan forbruket av elektrisitet, fossilt brensel og utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x påvirkes av hvor mye en tar med av de forskjellige massene som inngår i kontorbygget av stål.

Energiforbruk



Figur 44
Energiforbruk ved forskjellige cut-off

Den første av de to sammenhengende kolonnene viser El forbruket, den andre viser forbruket av fossil energi. Ved en cut-off på 4 %, dvs. hvis alle masser som utgjør minst 4 % av totalmassene for hhv. bærende, interiør og teknisk utstyr sløyfes, vil en kun få med 33 % av El-forbruket på interiøret, mens bare 43 % av den fossile energien fanges opp.

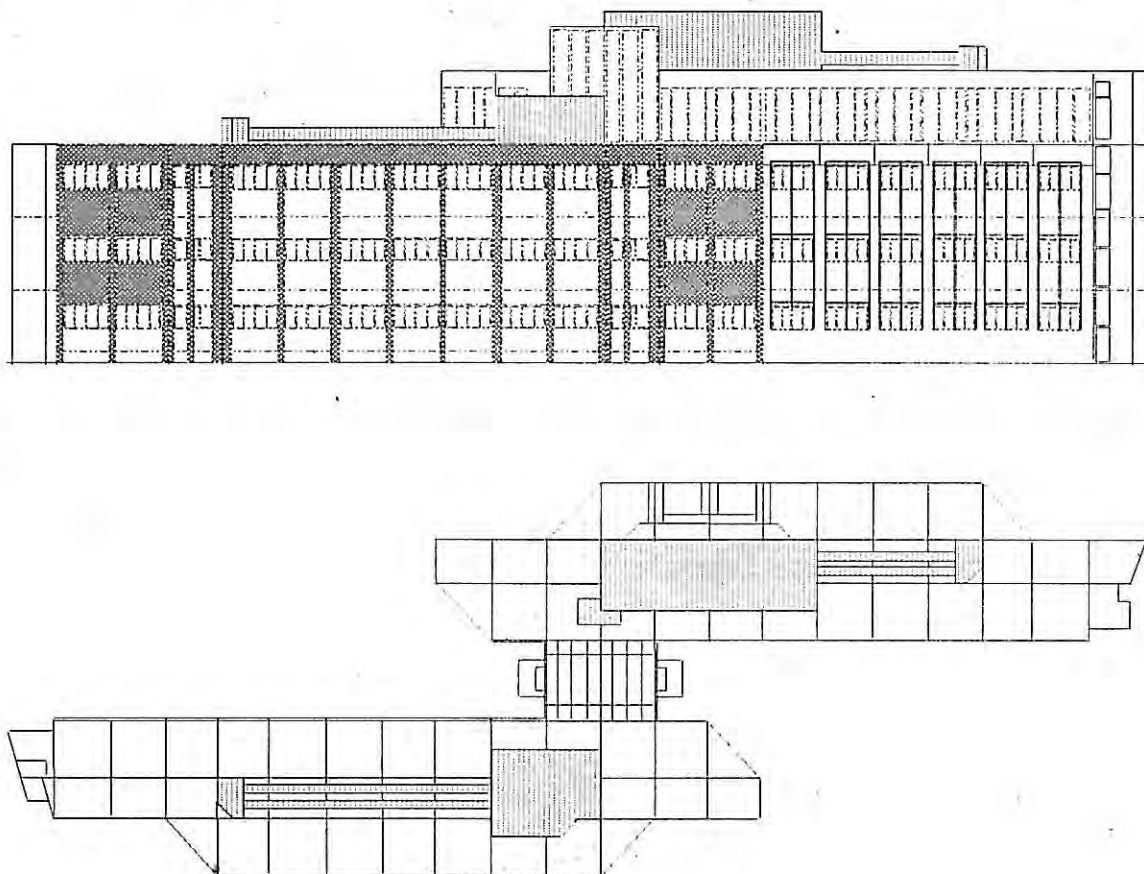
Utslipp av CO₂, SO₂ og NO_x

Figur 45
Utslipp ved forskjellige cut-off

Figur 45 viser utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x fordelt på bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr. Ved en cut-off på 1 % får en med de fleste utslippene for bærende konstruksjon og teknisk utstyr, men bare 88 % av CO₂ utslippene, 80 % av SO₂ utslippene og 96 % av NO_x utslippene for interiøret.

6.6 KONTORBYGG I BETONG

Kontorbygget består av to like bygningskropper forbundet med et glassoverbygd gangareal. Den nordligste fløyen er på tre etasjer, mens den sydligste fløyen er på fire etasjer. I tillegg kommer ventilasjonsrom på begge fløyene. Det er ordinær kjeller under mellombygget og den sydligste fløyen. Kjelleren har kjørbær atkomst via rampe.



Figur 46

Kontorbygg i betong

Bebygd grunnflate er 1125 m^2 for nordfløyen og 1080 m^2 for sørfløyen. Mellombygget er på 110 m^2 . Samlet grunnflate er 2315 m^2 og samlet bruttoareal er ca. 9200 m^2 .

Alle dekker unntatt tak i ventilasjonsrom og utvendige tak er frittstående plasstøpte flatedekker. Dekkene bæres av runde søyler i midtakser og bærende veggskiver i ytterveggsaksene. Alt er utført plaststøpt unntatt 4. etasje der veggskivene i yttervegg er erstattet med stålsøyler. Bæresystemet i mellombygget består av fagverksrammer i stål.

Ventilasjonsrommene på taket er utført med stål i søyler og dragere og bærende korrugerte tak- og veggplater. Hovedtrapper er utført med stål i trappeløp og med plasstøpte reposer. Byggets stabilitet er ivaretatt med plasstøpte sjakter og trapperom, samt veggskiver i yttervegg.

Utenpå og mellom de flate veggspøylene er det isolert bindingsverk av 100 mm og 150 mm tykkelse. Utvendig er bygningen kledd med prefabrikkerte betongelementer, delvis malt og delvis flisbelagt.

Innvendig er flate veggspøyer sparklet og malt, mens bindingsverksfelt er kledd med gipsplater og glassfibervev og deretter malt.

Vinduene er utført i aluminiumskonstruksjoner, med påmontert utvendige persienner på øst- og sydfasader.

Mellombygget med inngangspartier består av en stål/aluminiumkonstruksjon med glass/metallplatekledning. Ventilasjonsbygget er bygd i isolerte stålkonstruksjoner med stålplatekledning utvendig og kledning av bygningsplater innvendig.

På innerveggene er det benyttet isolerte stålstendervegger med gipsplatekledning, glassfibervev og maling. Korridorveggene er utført som systemvegger med dørelementer og faste elementer med glassåpninger i varierende størrelser. En del murte vegger er brukt rundt faste rom og installasjoner. Vestibyle og toalettrom er flisbelagt, i kantine er det lagt parkett. I øvrige rom er det benyttet linoleumsbelegg.

Bygget er oppført med et vannbårent oppvarmingssystem som tilfører energi til varmtvannsbereder og ventilasjonsanlegg, samt et direkte elanlegg som dekker transmisjonstapet.

Komplett VVS-anlegg omfatter følgende:

- innvendig sanitæranlegg
- sprinkelanlegg
- luftkjøleanlegg
- kjøleanlegg
- luftbehandlingsanlegg
- automatikk og tavler

U-verdi vegg og tak 0,3 w/m² °C

U-verdi vindu 2,0 w/m² °C

Det er montert 2 heiseanlegg i bygget.

6.6.1 MASSEBEREGNINGER

Masseberegningene for kontorbygget er delt på tre områder: bærende konstruksjon, interiør, dører, isolasjon og vinduer samt teknisk utstyr. Materialforbruket inneholder kapp, svinn og utskifting over en 50-årsperiode.

MATERIALER	BÆRENDE TONN	INTERIØR TONN	TEKNISK TONN	TOTALT TONN
Betong, tegl og lettklinker	10219			10219
Tre	1	169	24	200
Gipsplater		174		174
Isolasjon		34		43
Metaller	559	79	139	778
Porselen og fliser		17	3	20
Plast		25	13	38
Diverse		170	1	171
Glass		106		106
Papp og maling		68		68
TOTALT	10779	841	179	11817

Tabell 51

Masser

6.6.2 ÅRLIG ENERGIFORBRUK

Beregning av energiforbruk er utført med programmer som regner etter reglene i NS 3031, NS 3032 og NS 3201.

	MJ/m ² år
Oppvarming	98
Ventilasjon	53
Varmtvann	32
Vifter/pumper	59
Belysning	132
Diverse	86
Kjøling	14
Energiforbruk	476

Tabell 52

Beregnet energiforbruk

Energiforbruket over en 50 årsperiode vil være 23780 MJ/m².

6.6.3 ENERGI- OG MILJØREGNSKAP

Energi- og miljøregnskap omfatter den bærende konstruksjon, interiøret, det teknisk utstyret og hele kontorbygget. Dette regnskapet dekker kapp, spill og utskiftninger over en 50-års periode. Oppvarming og riving/bortkjøring er ikke med.

	Masser tonn	El MJ	Fossilt MJ	Totalt MJ	Brennv. MJ	CO ₂ kg	SO ₂ kg	NO _x kg	Stov kg
Bærende	10779	930154	6372828	7304858	14387	202342	607	4782	396
Interiør	849	2404568	6020400	8933418	3272808	520918	1542	2757	1500
Teknisk	190	591054	1708084	2368315	718402	108326	250	385	156
Totalt	11818	3925777	14101312	18606591	4005596	831586	2399	7924	2053
	kg/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
Totalt	1272	423	1518	2003	431	202342	258	853	221

Tabell 53

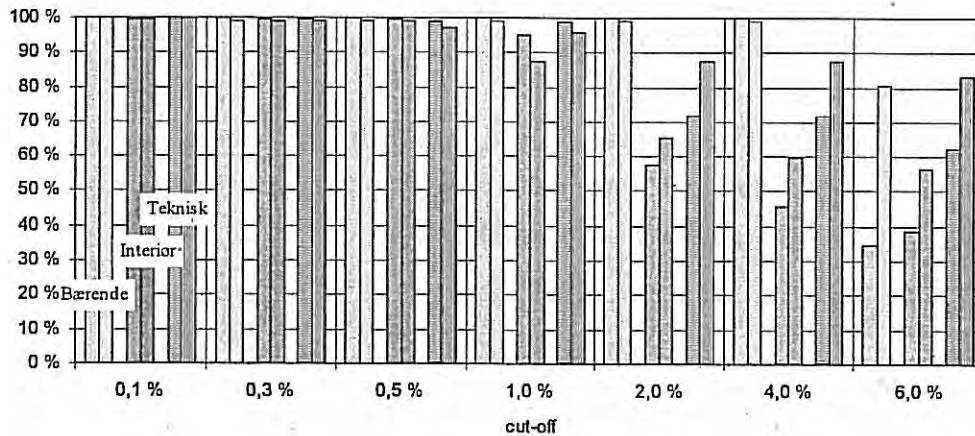
Energi og miljøregnskap - kontorbygg i betong

Beregningene viser at den bærende konstruksjonen utgjør over 91 % av byggets totale vekt, og for dette kontorbygget er det den bærende konstruksjonen som utgjør det største energiforbruket. Relativt til vekten bidrar imidlertid det tekniske utstyret betydelig mer enn både den bærende konstruksjonen og interiøret. Utslippet av f.eks. CO₂ er 550 kg/tonn for det tekniske utstyret, mens det for den bærende konstruksjon og interiøret er henholdsvis 115 kg CO₂/tonn og 610 kg CO₂/tonn.

6.6.4 FØLSOMHET CUT-OFF

De etterfølgende diagrammer viser hvordan forbruket av elektrisitet, fossilt brensel og utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x påvirkes av hvor mye en tar med av de forskjellige massene som inngår i kontorbygget av betong.

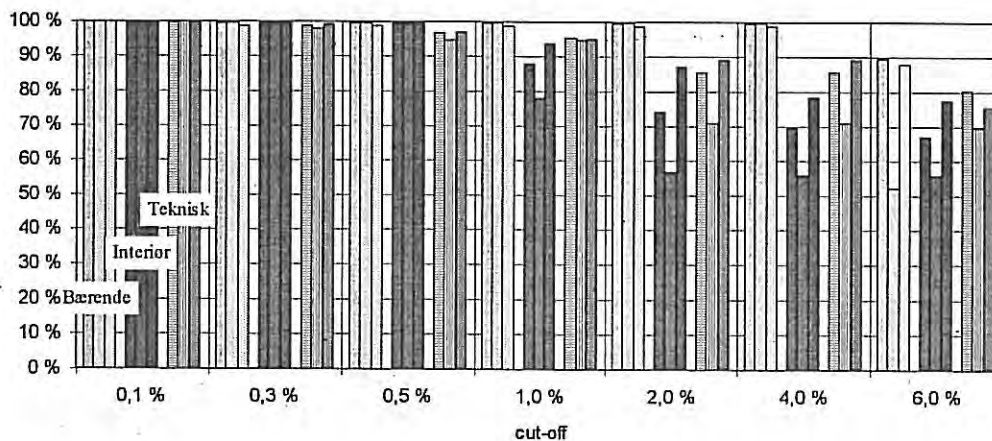
Energiforbruk



Figur 47

Energiforbruk ved forskjellige cut-off

Den første av de to sammenhengende kolonnene viser elforbruket, den andre viser forbruket av fossil energi. Ved en cut-off på 2 %, dvs. hvis alle masser som utgjør minst 2 % av totalmassene for hhv. bærende, interiør og teknisk utstyr sløyfes, vil en kun få med 58 % av elforbruket på interiøret, mens 66 % av det fossile energien fanges opp.

Utslipp av CO₂, SO₂ og NO_x

Figur 48

Utslipp ved forskjellige cut-off

Figur 48 viser utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x fordelt på bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr. Ved en cut-off på 1 % får en med de fleste utslippene for bærende konstruksjon og teknisk utstyr, men bare 88 % av CO₂ utslippene, 78 % av SO₂ utslippene og 94 % av NO_x utslippene for interiøret.

6.7 OPPSUMMERING

Tabell 54 viser hvordan masser, energiforbruk og utslipp fordeler seg prosentvis mellom den bærende konstruksjon, interiøret og det tekniske utstyret for de byggene som er undersøkt.

		Masser %	El %	Fossilt %	Totalt %	CO ₂ %	SO ₂ %	NO _x %	Stov %
Stor enebolig i tre	Bærende	70	17	35	30	58	52	38	35
	Interiør	27	73	51	57	34	40	58	48
	Teknisk	2	10	14	13	8	8	4	17
Liten enebolig i tre	Bærende	75	21	46	39	69	69	51	52
	Interiør	24	69	41	49	25	27	46	38
	Teknisk	1	11	13	12	5	4	3	10
Liten enebolig i lettklinker	Bærende	86	29	42	38	63	46	53	50
	Interiør	12	46	23	27	14	13	28	20
	Teknisk	2	25	35	35	24	41	19	29
Kontorbygg - stål	Bærende	89	20	39	34	63	25	56	20
	Interiør	8	42	42	43	25	51	38	58
	Teknisk	3	38	19	23	12	25	6	23
Kontorbygg - betong	Bærende	91	24	45	39	24	25	60	19
	Interiør	7	61	43	48	63	64	35	73
	Teknisk	2	15	12	13	13	10	5	8

Tabell 54

Masser, energiforbruk og utslipp. Prosentvis fordeling på bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr i undersøkte bygg

Som det går frem av tabellen, fordeler ikke energiforbruket og utslippene seg etter massene. Den delen av energien som går med til å fremstille interiøret, er vel så stor som den energi en trenger for å fremstille den bærende konstruksjonen. Dette til tross for at massene bare utgjør 7 - 27 % av de totale massene. For utslippene av CO₂ og delvis SO₂ (eneboligene) ligger hovedtyngden på den bærende konstruksjonen.

7 RIVING OG BORTKJØRING AV BYGGEMATERIALER

7.1 GENERELT

Byggeavfall er et område som er kommet sterkt i fokus i den senere tid. Riving av bygg skaper store mengder avfall og ses nå på som et økende problem [115]. Byggeavfall fra såvel byggeperioden som ved riving av bygg utgjør pr. år like mye som alt annet kommunalt avfall. Riving av et bygg har frem til i dag stort sett vært å fjerne bygget så raskt og billig som mulig og frakte materialene til en offentlig eller privat fyllplass. Nesten alt byggeavfall transporteres i dag usortert til ulike fyllplasser. Transport og tømmeavgifter er vanligvis de største utgiftene i forbindelse med riving.

Dette området er så stort at det i seg selv burde være et eget prosjekt. Det er imidlertid gjennomført flere prosjekter for både å redusere byggeavfallet ved nybygging [81] og for å forbedre rivingsprosessen [90] samt finne nye anvendelser for rivingsavfallet. De største problemene for en rasjonell riving og gjenbruk av materialer er den økonomiske siden, som kanskje også er én av årsakene til at Norge mangler infrastruktur/nettverk i forbindelse med selektiv riving, resirkulering og gjenbruk av byggematerialer. Knapphet på ressurser og hensynet til miljøet gjør at det i fremtiden vil stilles størst mulig krav til gjenbruk av avfall, og at de gjenbrukte materialene omsettes til en høyest mulig pris.

Verdien på byggematerialer som finnes i et rivningsprosjekt, kan deles inn i kategoriene avfall, gjenvinning og ombruk hvor ombruken representerer ca. 30 % av rivningsobjektene [120]. Ombruksområdet deles igjen inn i høyverdige produkter, gode produkter og lavverdige produkter. De høyverdige produktene som har stort markedspotensiale, vil kunne omsettes til en pris som tilsvarer prisen på nye produkter. For Norge vil denne delen utgjøre fra 40000 til 60000 tonn pr. år til en verdi av 400 til 600 mill. kr.

Når en i en livsløpsanalyse for et bygg skal se på riving, vil det være naturlig å se på dagens praksis. Hva som skjer med byggeavfallet ved rivingen av et bygg om 50 år eller mer, og med bakgrunn i den teknologiske utvikling en må forvente, er vanskelig å forutsi. All sannsynlighet tilsier imidlertid at deponeringsdelen vil minimaliseres og at gjenbruk og resirkulering vil øke som følge av forbud, krav og avgifter.

Mange land har allerede satt seg politiske mål om gjenbruk/gjenvinning av byggeavfall. I Tyskland er målet at 60 % av rivningsmassene og 40 % av byggeplassavfallet skal gjenvinnes, mens i Holland er målet 90 % [69] [70]. For Norge har en ikke angitt noen konkrete mål fordi en foreløpig mangler kunnskap om avfallsmengdene.

Gjenvinning av byggeavfall i Holland, Tyskland og Danmark ligger mellom 25 - 70 % av det totale byggeavfallet.

I Holland har de viktigste faktorene for gjenvinning vært:

- begrensede deponeringssteder
- høye avfallsavgifter
- mangler på råmaterialer

For Norge er det ikke gjennomført systematiske registreringer av total avfallsmengder fra bygge- og anleggsvirksomheten. Offentlige utredninger [112] antyder at byggeavfallet i Norge i dag utgjør ca. 2 millioner tonn pr. år mot i underkant av 1 mill. tonn i 1981.

Fordelingen mellom de forskjellige materialene var i 1981 [8]:

Byggemateriale	Brutto avfallsmengde tonn/år	%
Betong	695.000	74,7
Trevirke	140.000	15,1
Lettklinker	33.000	3,5
Stål	20.000	2,1
Plast	12.000	1,2
Gipsplater	8.000	0,9
Papp/Papir	21.900	2,4
Mineralull	1.000	0,1
Glass	300	
Aluminium	250	
Diverse	200	
Totalt	~ 930.000	100

Tabell 55

Brutto årlig avfallsmengde

Utredning som SFT har gjort, anslår at en frem til i dag har hatt ca. 40000 forskjellige byggeprodukter på markedet og at mange av disse inneholder potensielle miljøfarlige stoffer [90]. Eksempler er plast, maling, lim, fugemasser, impregnert trevirke og fargestoffer. Nordsjøavtalen omtaler 90 miljøskadelige stoffer og av disse er det 35 som er funnet i byggematerialer. Det er tungmetaller, klorerte forbindelser, dioksiner, PAH, PCB og asbest for å nevne noen av dem.

7.2 MILJØBELASTNING VED RIVING OG BORTKJØRING

I de gjennomførte beregningene for byggene (boliger og kontorbygg) har en allerede tatt hensyn til at enkelte materialer som stål og aluminium gjenvinnes. Produksjon av stål i Norge er kun basert på skrap. All norsk tilvirkning av stålbejelker og armeringsjern produseres fra skrapjern. Stålblater derimot er i hovedsak basert på stål fremstilt fra jernmalm. Grovt regnet er det antatt at ca. 50 % av stålet i et bygg er fremstilt fra skrap. Levetiden for aluminium i bygninger er normalt lang, og en har liten erfaring med resirkulering av aluminium fra denne industrien. Materialet har i utgangspunktet en meget høy skrapverdi, og mesteparten av aluminium brukt i bygg vil bli gjenvunnet i fremtiden. For aluminium er det regnet med en gjenvinningsgrad på 80 %.

Kapp, masser og utskiftning sett over byggenes levetid (50 år) av de materialene som inngår i boligene og kontorbyggene er vist i tabell 56.

	Areal m ²	Kapp nybygg kg/m ²	Kapp og utskiftning 50 år kg/m ²	Totale masser tonn
Liten enebolig i tre	135	21	89	95
Stor enebolig i tre	235	20	77	141
Liten enebolig i lettklinker	140	28	78	148
Kontorbygg stål	7220	39	68	9190
Kontorbygg betong	9290	39	75	11818

Tabell 56

Kapp og utskiftninger

I størrelsesorden ligger disse tallene for kapp og utskiftninger i perioden på 50 år mellom 70 og 90 kg/m² og er basert på en kapp på ca. 5 % og utskiftningstider som beskrevet i tabell 38. I en undersøkelse om avfallsreduksjon og kildesortering i byggebransjen [81] antydes det at byggeavfallet i forbindelse med byggeoppdrag ligger i størrelsesorden 30 kg/m², hvorav emballasje kanskje utgjør 2 - 4 %. Kapp i forbindelse med oppføring av de byggene som er med i denne undersøkelsen, ligger mellom 20 og 40 kg/m². Dette er ikke bare kapp på byggeplass, men også den kapp og spill en har på andre steder hvor en tilvirker byggematerialer som inngår i byggene. Ikke alle materialene i tabell 56 går som avfall til fyllplasser, en del går til gjenbruk og gjenvinning, men alle må transporteres bort fra bygget eller tilvirkningsstedene i løpet av de 50 årene en betrakter.

Energi og utslipp i forbindelse med riving og transport av byggeavfall er lite undersøkt i Norge. I Danmark er det imidlertid gjort noen undersøkelser både av tradisjonell nedrivning og selektiv nedrivning av større bygg [115] [118]. I vår undersøkelse har en derfor valgt å

bruke gjennomsnittstall fra de danske undersøkelsene (70 MJ/tonn, diesel). Tallene inneholder nedbrytning av konstruksjoner, utsortering av metaller og opplasting på rivningsplass. Det er viktig å være oppmerksom på at dette er danske tall, og at forholdene i Norge kan være noe annerledes.

Det spesifikke energiforbruket til riving av boliger i tre vil trolig også være mindre enn for kontorbygg i stål og betong, men en har valgt å benytte de samme tallene til alle bygg. Energiforbruket til rivingen viser seg å ligge på ca. 10 % av energiforbruket til fremstilling av byggematerialene.

Transporten fra bygg til deponi eller gjenbruk er antatt å ligge på 100 km tur/retur [77].

Dette er tall for Oslo-området og er et nokså røft anslag.

Riving og transport til gjenbruk, gjenvinning og deponi	Fossilt MJ/m ²	CO ₂ g/m ²	SO ₂ g/m ²	NO _x g/m ²	Stov g/m ²
Liten enebolig i tre	161	12012	0,4	7,2	0,6
Stor enebolig i tre	138	10257	0,4	6,2	0,5
Liten enebolig i lettklinker	244	18134	0,6	10,9	0,9
Kontorbygg stål	293	21822	0,8	13,2	1,0
Kontorbygg betong	293	21809	0,8	13,2	1,0

Tabell 57

Energiforbruk og utslipp ved riving

Tabell 57 viser energiforbruk og utslipp ved riving og transport av byggeavfall til gjenbruk, gjenvinning, og deponi for de bygg som er med i denne undersøkelsen.

Energiforbruk og utslipp i forbindelse med gjenbruk, gjenvinning og deponi er ikke behandlet i denne rapporten [15] [17] [25] [96] [108] [113] [118].

8 DISKUSJON AV BEREGNINGSRISULTATENE

Den vurderingen som er foretatt i dette kapitlet, angår bare de miljømessige forholdene. Bygg som kommer "dårlig" ut i denne sammenlikningen, vil kunne ha andre positive egenskaper (lyd- og brannmessige forhold, varmelagring, komforthensyn osv.) enn det en slik vurdering tar hensyn til. Mellom kontorbyggene er det ikke signifikante forskjeller slik at en kan si at det ene bygget er bedre enn det andre. For boligene kan det synes å være en signifikant forskjell mellom boliger i tre og boliger i lettklinkerblokker. Det er allikevel viktig å påpeke at byggene er reelle eksisterende bygg med bl.a. ulike tekniske løsninger som må medføre at en kan forvente forskjeller.

8.1 FØLSOMHETSANALYSER - CUT-OFF

I det forrige kapitlet så vi på hvilken innflytelse energiforbruk og utslipp hadde på de forskjellige byggene hvis en sløyfet byggematerialer som utgjorde mindre enn 1-2 % av massene. Virkningen på de tre delene som byggene var delt opp i, bærende konstruksjon, interiøret og tekniske utstyr, var til dels dramatiske med minst virkning på den bærende konstruksjonen. I eneboligene utgjør stål og aluminium mindre enn 1,5 % av de totale massene, men hvis en deler opp massene etter bærende konstruksjon, interiør og teknisk utstyr vil den %-vise andelen av stål og aluminium utgjøre hhv. 0,3 %, 1 % og 70 %.

Hele bygget	cut-off	Masser	El	Fossilt	CO ₂	SO ₂	NO _x
Liten enebolig i tre	0,5 %	97 %	85 %	87 %	88 %	79 %	89 %
	1,0 %	96 %	74 %	62 %	82 %	78 %	84 %
	2,0 %	92 %	48 %	53 %	76 %	77 %	72 %
Stor enebolig i tre	0,5 %	98 %	86 %	89 %	89 %	77 %	93 %
	1,0 %	93 %	65 %	78 %	78 %	65 %	84 %
	2,0 %	91 %	43 %	48 %	70 %	64 %	74 %
Liten enebolig i lettklinker	0,5 %	97 %	73 %	74 %	84 %	77 %	83 %
	1,0 %	96 %	60 %	71 %	82 %	76 %	82 %
	2,0 %	93 %	48 %	46 %	67 %	50 %	63 %
Kontorbygg stål	0,5 %	97 %	80 %	70 %	88 %	79 %	89 %
	1,0 %	95 %	53 %	62 %	82 %	62 %	85 %
	2,0 %	87 %	49 %	48 %	70 %	46 %	64 %
Kontorbygg betong	0,5 %	97 %	64 %	72 %	86 %	67 %	88 %
	1,0 %	94 %	51 %	55 %	72 %	40 %	75 %
	2,0 %	91 %	48 %	51 %	70 %	38 %	65 %

Tabell 58

Energiforbruk og utslipp ved forskjellige cut-off

Tabellen viser hvordan totalmassene, energiforbruket og utslippene varierer med cut-off.

Ved 1 % cut-off mister en for kontorbyggene og lettklinkerboligen 4 - 6 % av massene totalt, mens en bare fanger opp 50 % av elforbruket, 55 - 71 % av det fossile energiforbruket og 40 - 76 % av NO_x utslippene. Dette henger selvfølgelig sammen med at de lette materialene som glass, plast, maling, isolasjon osv. står for en betydelig del av energiforbruket og utslippene.

8.2 KOMPLETTE ENERGI- OG MILJØREGNSKAPER

Tabellen nedenfor viser det totale livsløpsregnskapet for tre boliger og to kontorbygg sett over levetiden på 50 år. I tilvirkningen ligger også kapp og utskiftninger som gjøres over disse 50 årene. Alle byggene er elektrisk oppvarmet, og energiforbruket inkluderer oppvarming, ventilasjon, varmtvann, belysning og forbruk til teknisk utstyr for 50 års-perioden. I rivningen er bortkjøring av materialene med, med det er ikke med noen debitering av byggematerialene for gjenbruk og gjenvinning utover hva en tidligere har sagt om stål (50 %) og aluminium (80 %).

Bygg		Masser kg/m ²	El MJ/m ²	Fossilt MJ/m ²	Totalt MJ/m ²	Brennv. MJ/m ²	CO ₂ g/m ²	SO ₂ g/m ²	NO _x g/m ²	Stov g/m ²
Liten enebolig i tre	Tilvirkning	701	507	1286	1999	2730	121352	247	497	62
	Drift		26717		26717					
	Riving			161	161		12012	0	7	1
	Totalt	701	27224	1447	28877	2730	133363	247	504	63
Stor enebolig i tre	Tilvirkning	598	463	1198	1838	2345	108512	219	529	69
	Drift		23191		23191					
	Riving			138	138		10257	0	6	0
	Totalt	598	23654	1336	25167	2345	118769	219	535	69
Liten enebolig i lettklinker	Tilvirkning	1050	600	2520	3380	2130	247596	701	799	115
	Drift		25915		25915					
	Riving			244	244		18134	1	11	1
	Totalt	1050	26515	2764	29538	2130	265730	701	809	116
Kontorbygg stål	Tilvirkning	1251	502	1792	2330	395	208021	309	846	148
	Drift		32220		32220					
	Riving			293	293		21822	1	13	1
	Totalt	1251	32722	2085	34843	395	229842	310	859	149
Kontorbygg betong	Tilvirkning	1272	423	1518	2003	431	202342	258	853	221
	Drift		23778		23778					
	Riving			293	293		21809	1	13	1
	Totalt	1272	24201	1811	26074	431	224151	259	866	222

Tabell 59

Komplette livsløpsregnskap

Av boligene er det eneboligen i lettklinker som har det største energiforbruket og de største utslippene, og disse er signifikant større enn for de andre to boligene. For kontorbyggene er det driften av stålbygget som utgjør forskjellen mellom disse to, utslippene er av samme størrelsesorden. Som en ser av tabell 59 utgjør energiforbruket i driftsfasen 90-91 % av det totale energiforbruket for kontorbyggene og 92-93 % for eneboligene i tre, mens for lettklinkerboligen utgjør driftsfasen 88 % av det totale energiforbruket. Utslippene kommer derimot i det vesentligste fra produksjon av byggematerialer.

8.3 NORMALISERING AV ENERGIFORBRUK OG UTSLIPP

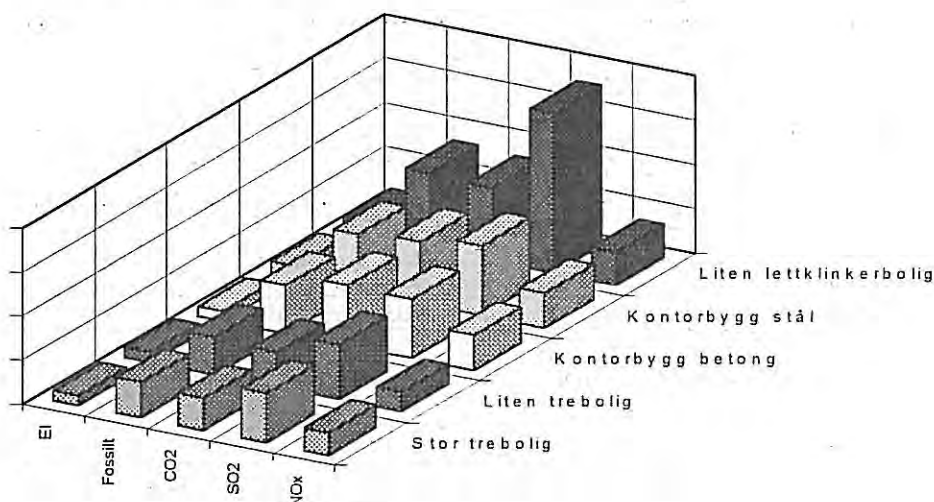
For å vise byggenes miljøprofil har en valgt å normalisere energiforbruket og utslippene mot det totale energiforbruk og utslipp i Norge i 1993. På denne måten oppnår en å vekte forbruket og utslippene.

Forbruk/utslipp 1993*	El TJ	Fossilt TJ	CO ₂ tonn	SO ₂ tonn	NO _x tonn
	403873	331000	33000000	39000	217000

* Elforbruket er innenlands forbruk.

Tabell 60

Energiforbruk og utslipp i Norge for 1993

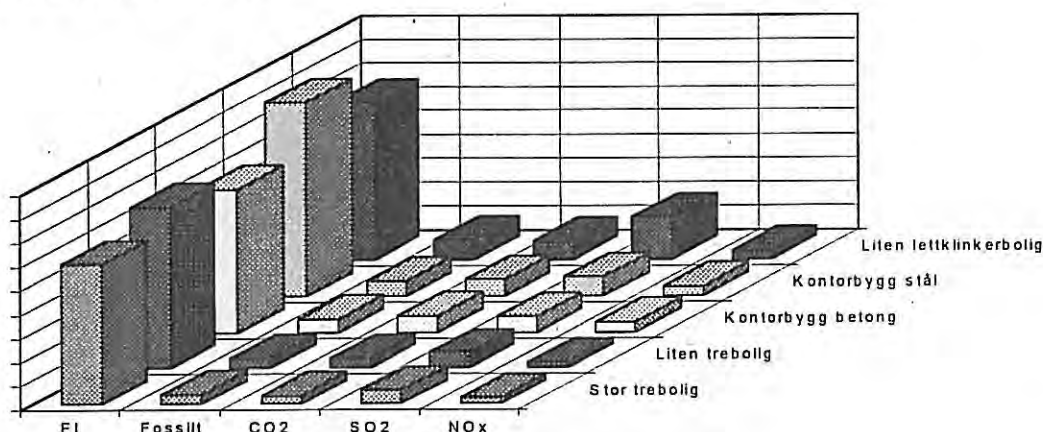


Figur 49

Normalisert energiforbruk og utslipp uten driftsfasen

Figur 49 viser normaliserte energi- og miljøprofiler for alle fem byggene. I energiforbruket og utslippene inngår tilvirkning og riving. Energiforbruket i driftsfasen er såpass

dominerende at en derfor har valgt å holde det utenfor denne sammenlikningen. Det vil dessuten ikke ha noen innvirkning på utslippene. Tar en med energiforbruket i driftsfasen, får en som vist i figur 50.



Figur 50
Normalisert energiforbruk og utslipp med driftsfasen

Som det fremgår av figuren, vil elforbruket være dominerende for byggene når alle livssyklusfasene tas med. Figurene 49 og 50 viser signifikante forskjeller på utslippene av SO_2 mellom lettklinkerboligen og de andre byggene. Går en tilbake (oppstrøms) i regnskapet, ser en at én av årsakene skyldes tilvirkningen av lettklinker i det utslippene av SO_2 /kg ved produksjon av lettklinker er ca. 16 ganger større enn ved betongtilvirkningen.

8.4 OPPFØRTE BYGG I 1993

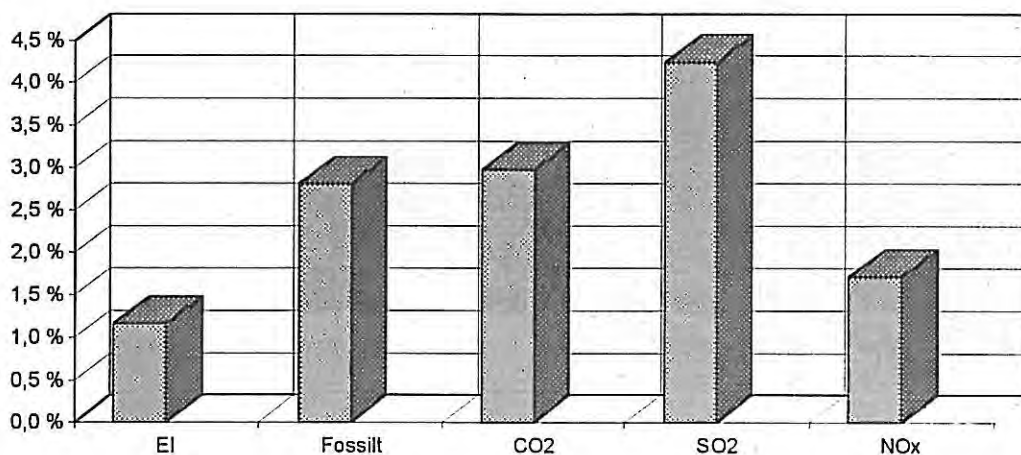
Ser en på fullførte bygg og legger byggearealstatistikken for 1993 til grunn, vil en sammen med energi- og miljøregnskap for boliger og kontorbygg kunne estimere hva byggeaktiviteten står for av energiforbruk og totale utslipp i 1993. Undervisningsbygg, bygg for helsestell og sosial omsorg, hotell- og restaurantbygg osv. er slått sammen med kontor- og forretningsbygg. For 1993 vil en da ha følgende fullførte bygg (1000 m^2) som vist i tabell 61.

	1000 m^2
Fullførte kontorbygg	2553
Fullførte eneboliger	1833
Fullførte andre boliger	298

Tabell 61

Fullførte bygg i 1993

Byggene vil under disse antakelser gi følgende bidrag (fig. 51) til energiforbruk og utslipp i 1993. Her er det tatt med oppføring og riving av byggene, men drift kun for ett år. I driften av byggene er det antatt at 5 % av energiforbruket kommer fra fossilt brensel for nye bygg.



Figur 51

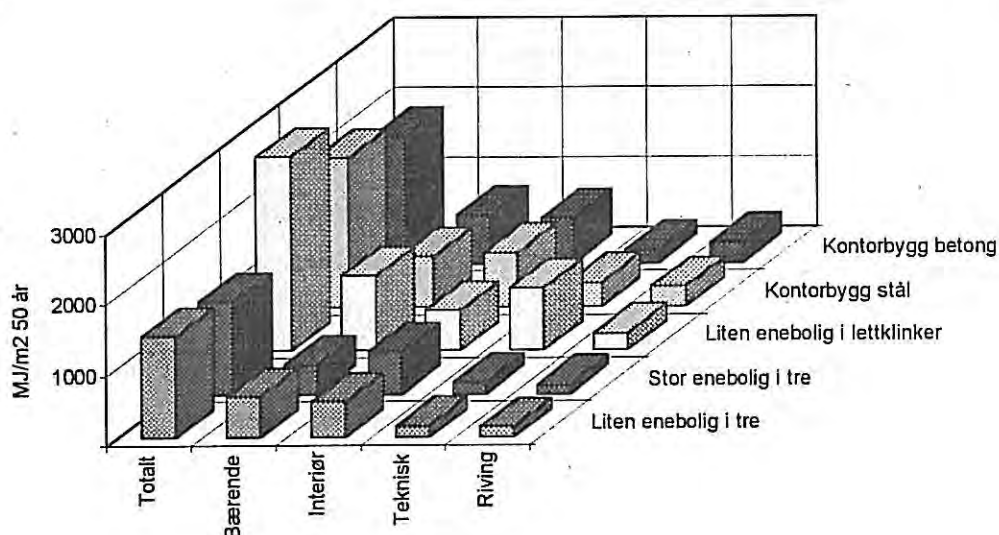
Estimert forbruk av energi og utslipp i Norge for fullførte bygg i 1993 i % av de totale forbruk/utslipp i 1993

Fra figuren ser en at byggene står for mindre enn 1,5 % av det elektriske energiforbruket og nesten 3 % av det fossile energiforbruket i 1993. For utslippene som skyldes tilvirkningen av byggene, utgjør CO₂-utslippene ca. 3 %, SO₂-utslippene i overkant av 4 % og NO_x-utslippene ca 1,5 % av de totale tilsvarende utslipp i 1993. Dette betyr at byggeaktiviteten i Norge i 1993 bidrar relativt mer av SO₂ utslippene enn de øvrige utslipp i 1993, og at tilvirkningen av bygg forbruker relativt sett mer fossil energi enn elektrisk energi av det totale forbruket i 1993. Til sammenlikning bidrar oljerelatert virksomhet og veitrafikk med 53 % av de totale CO₂-utslippene i 1993.

8.5 SAMMENLIKNING AV BYGG

8.5.1 FORBRUK AV FOSSILE RESSURSER

Det er kun forbruket av fossil energi som er vurdert. Figur 52 viser forbruket av energi gjennom livsløpet til alle fem bygningene. Siden alle bygg er elektrisk oppvarmet, er det ikke forbruk av fossilt brensel i drift av byggene.

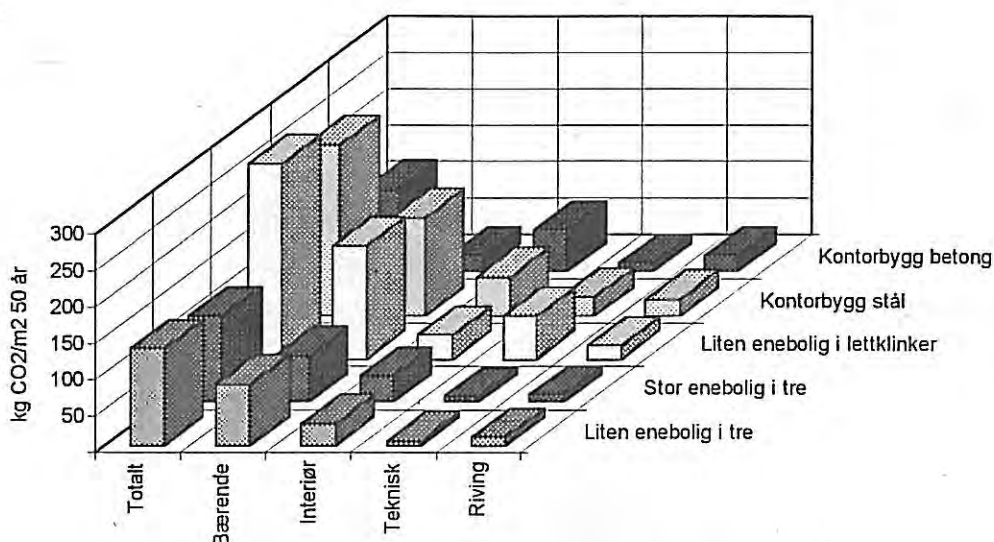


Figur 52
Forbruk av fossile ressurser

Av figuren ser en at det er lettklinkerboligen som har det største forbruket av fossil energi. I tillegg har den større forbruk av fossil energi på den tekniske delen enn de andre byggene. Det henger sammen med at oppvarmingssystemet for lettklinkerboligen er vannbåren varme, mens det for de to treboligene og kontorbyggene er elektriske panelovner. For treboligene og kontorbyggene er forbruket på bærende konstruksjoner og interiør av samme størrelsesorden.

8.5.2 GLOBAL KLIMAENDRING PGA. CO₂-UTSLIPP

Av utslipp gjennom livsløpet til byggene er det CO₂ som bidrar til den globale klimaendringen. Global klimaendring beregnes i CO₂-ekvivalenter, og siden det for byggene kun er CO₂ som forårsaker klimaendringen, er CO₂-ekvivalenter identisk med CO₂ produsert gjennom livsløpet til byggene.

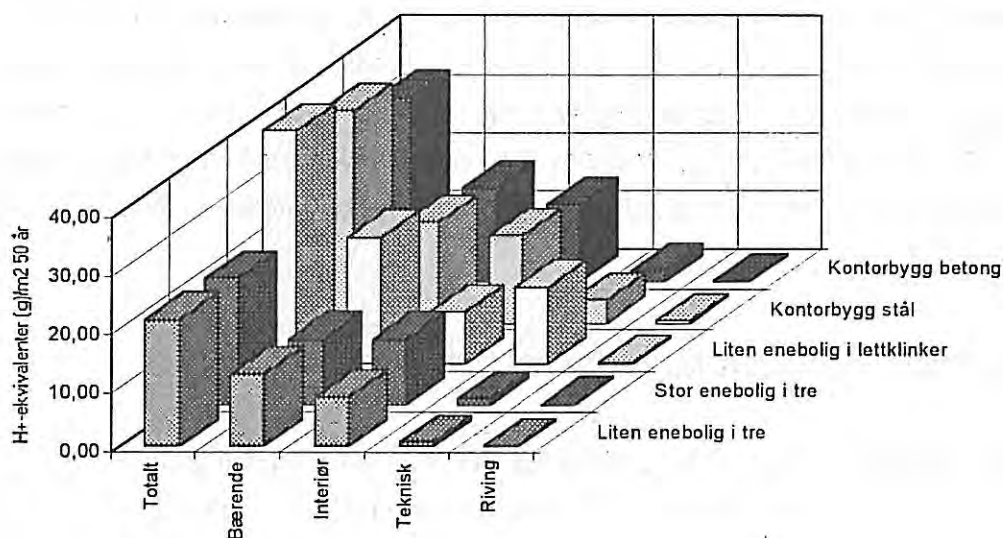


Figur 53
Global klimaendring

Det er de bærende konstruksjonene som gir de største bidragene til global klimaendring. Det gjelder for alle byggene, og av disse utslippene utgjør transporten ca. 8 - 10 %.

8.5.3 FORSURING PGA. SO₂ OG NO_x UTSLIPP

I figur 54 er forsuringen beregnet som beskrevet under avsnitt 1.2 om livsløpsvurderinger og er fremstilt som H⁺-ekvivalenter. Det er den potensielle effekten fra utslippene av SO₂ og NO_x som er beregnet.

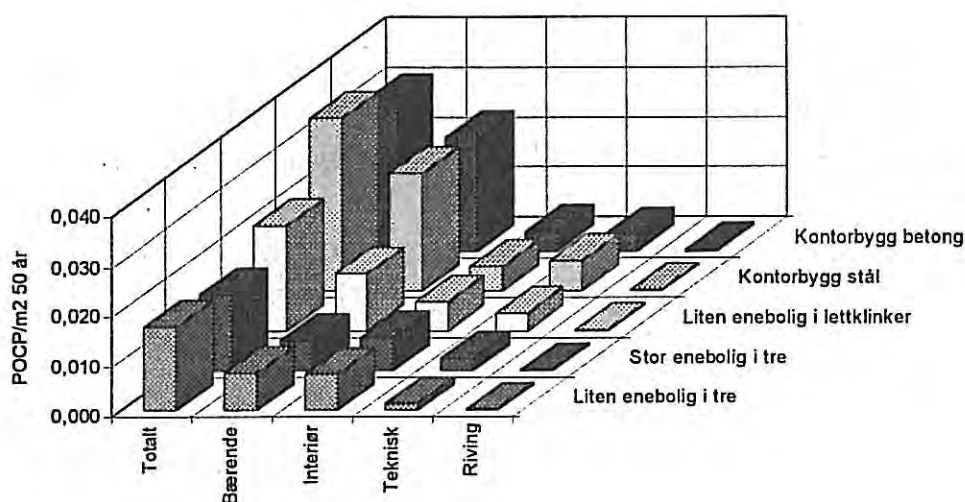


Figur 54
Forsuring

Forsuringen fra SO_2 og NO_x er registrert i figuren. Det er imidlertid NO_x som bidrar mest til forsuring og utgjør ca. 2/3 av bidraget. Av boligene er det lettklinkerboligen som gir det største bidraget, mens stålbygget synes å ha et noe større forsuringspotensiale enn betongbygget. En ser at det er den bærende konstruksjonen som bidrar mest, men for lettklinkerboligen bidrar det tekniske utstyret mer enn interiøret, i motsetning til de øvrige bygg.

8.5.4 FOTOKJEMISK OKSIDASJON PGA. VOC UTSLIPP

Av utslippene er det CO og VOC som kan bidra til fotokjemisk oksidasjon. I figur 55 er det bare VOC bidraget som er beregnet, og dette bidraget kommer fra transporten av materialer. Beregningene er foretatt ut fra de transportbelastningene som er beskrevet for hvert materiale og utslippstall for VOC i tabell 2. For de materialene som ikke har vært med i undersøkelsen, er det gjort antakelser. PDOP-verdien (Photochemical Oxone Creation Potentials) er basert på grunnlag av gjennomsnittlig ozon-konsentrasjon i 0 - 4 dager for nordiske forhold [49].



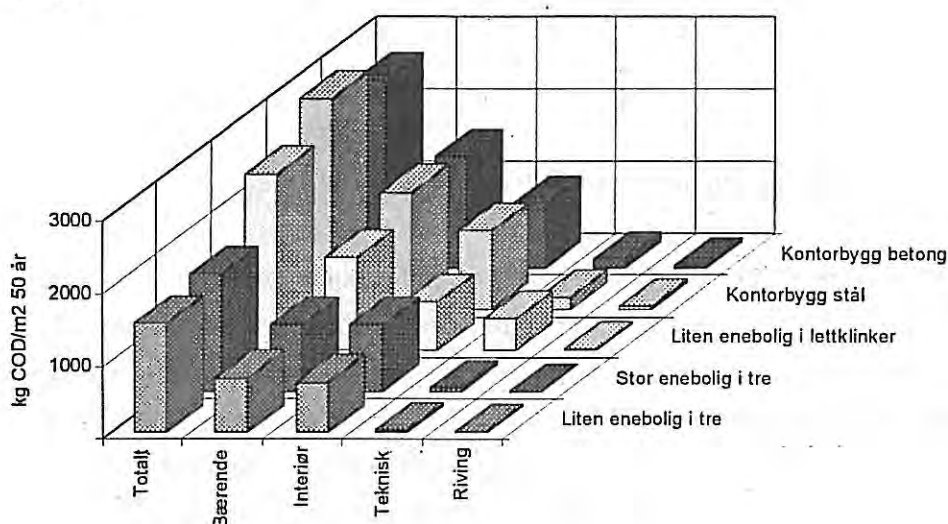
Figur 55

Fotokjemisk oksidasjon

Figuren viser at det er de tyngste byggene (kg/m^2) som bidrar mest til dannelse av jordnær ozon, og hovedbidraget for kontorbyggene og lettklinkerboligen kommer fra den bærende konstruksjonen. For de øvrige boligene bidrar bærende konstruksjon og interiøret noenlunde likt.

8.5.5 OVERGJØDSLING PGA. NO_x

Utslippene er omregnet til kjemisk oksygenforbruk (COD), og det er den potensielle (maksimale) effekten som er beregnet, dvs. en antar at alle NO_x -utslippene bidrar til overgjødslingen.



Figur 56
Overgjødsling

Bidraget til overgjødsling er størst fra lettklinkerboligen og kontorbyggene. Bidragene kommer i hovedsak fra bærende konstruksjon og interiør. Lettklinkerboligen bidrar imidlertid noe mer fra det tekniske utstyret enn de øvrige byggene.

8.6 KONKLUSJON

Når en ut fra en livsløpsvurdering gjør en sammenlikning av bygg, enten det er ut fra normaliserte tall eller ressurs/utslipps kategorier, kan det være riktig at disse tallene settes inn i en større sammenheng. Generelt sett bidrar bygg- og anleggsvirksomheten i følge SSB [122] til utslipp av CO_2 , SO_2 og NO_x med kun 1 til 2,5 % av de norske utslippene. I tillegg kommer utslippene fra tilvirkning av byggematerialer og transporten av dem. De totale utslipp av CO_2 fra denne virksomhet i Norge i 1993 ligger i størrelsesorden 4-5 %. Utslippene fra driften av byggene bidrar noe, men for nye bygg er utslippene små da oppvarmingen i dag for en stor del er elektrisk. Til sammenlikning står oljerelatert virksomhet for ca. 30 % og veitrafikken for ca. 25 % av CO_2 -utslippene.

Selv om oppføring/riving av bygg bidrar relativt noe mer (1993 tall) av SO₂-utslipp enn andre utslipp, er reduksjonen i utslippene av svoveldioksyd fra 1980 og frem til 1993 redusert med 74 %. Målet for en reduksjon på 76 % frem til år 2000 synes derfor å ligge godt innen rekkevidde.

En skal være varsom med å sammenlikne tall for enkeltprodukter. Det er naturlig nok meget store forskjeller når en regner pr. kg, og det er nettopp her faren for misbruk av tall ligger. Dersom en ønsker å sammenlikne ulike materialer, er det viktig å velge sammenliknbare funksjonelle enheter. Materialer som dekker ulike funksjoner, kan ikke sammenliknes.

Usikkerheten i de beregningene som er utført, er forsøkt estimert ut fra antatte usikkerheter på de forskjellige faser i tilvirkningen. For transport er usikkerheten størst og er antatt å ligge i området 50 - 80 %, hvor de mest pålitelige verdiene er der hvor en har registrert forbruket av brennstoff. For prosesser hvor en har relativ god kontroll, er usikkerheten satt til 10 %, mens det for råstoffutvinning og produksjon er antatt en usikkerhet på 40 - 60 %.

Dette gir følgende usikkerheter på forbruk og utslipp for byggene:

Antatte nøyaktigheter	El		Fossilt		CO ₂		SO ₂		NO _x	
	MJ/m ²	±	MJ/m ²	±	g/m ²	±	g/m ²	±	g/m ²	±
Stor enebolig i tre	463	82	1198	309	108512	22280	219	56	529	178
Liten enebolig i tre	507	93	1286	322	121352	23516	247	54	497	176
Liten enebolig i lettkl.	600	118	2520	688	247596	55400	701	225	799	276
Kontorbygg stål	502	119	1792	546	208021	40961	309	106	846	343
Kontorbygg betong	423	99	1518	470	202342	39101	258	94	853	306

Tabell 62

Usikkerhetsberegninger

Uttrykt i % blir usikkerheten for forbruk og utslipp for alle byggene:

El:	± 17- 23 %	Fossilt:	± 24 - 31 %
CO ₂ :	± 20 %	SO ₂ :	± 20 - 38 %
NO _x :	± 32 - 41 %		

Det at utslippene av NO_x blir så usikker, skyldes i hovedsak bidraget fra transporten.

Det er de akkumulerte utslippene som er registrert, og de vil forekomme på forskjellige steder i Norge og i verden (f.eks. bauxittutvinning). For CO₂-utslippene som er en global effekt, vil den potensielle effekten være reell, men for utslippene av SO₂ og NO_x vil disse utslippene være regionale, som vil kunne ha liten samvirkning. En har likevel valgt å beregne de potensielle effektene ut fra summen av alle utslipp - uavhengig av hvor de har skjedd.

Konklusjonen fra de beregningene som er gjort, er at byggeaktiviteten og tilvirkningen av byggematerialer i Norge ikke er den største bidragsyteren når det gjelder de norske utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x.

Ved starten av prosjektet var det svært stor spredning i tallmaterialet en kunne finne for forskjellige byggematerialer. Det var nokså usikkert om hva som var tatt med i form av utvinning av råmaterialer og transport. En er kommet et godt stykke på vei i å samordne presentasjonen og har utviklet kriterier for innsamling av data slik at det nå er mindre sprik mellom de forskjellige byggematerialene.

En er også i ferd med å samordne og enes om de samme prinsippene i Norden. I 1994 har en i Norge, Danmark, Sverige og Finland gjennomført en sammenlikning mellom produksjonen av byggematerialene sement, betong og trematerialer med utgangspunkt i de samme kriteriene. En er i ferd med å starte opp et prosjekt innenfor ENBRI (European Network of Building Research Institutes) hvor en vil se på materialer som betong, tegl, tre og PVC. I dette prosjektet deltar 9 europeiske land.

Før en kan si at en er helt i mål, bør en imidlertid også se på andre byggematerialer og ikke minst gjennomføre beregninger for flere typer bygg. Dette gjelder spesielt lavenergibygge kontra tradisjonelle bygg. Ny teknologi og endrede forutsetninger vil medføre at dataunderlaget for de forskjellige bygningsmaterialene vil endre seg over tid. En oppdatering av bør derfor gjøres med jevne mellomrom (3 - 5 år).

Ny byggeforskrift kommer for første gang i 1995 med et avsnitt om bruk av særlig energi- og miljøvennlige materialer. Dette åpner muligheter for å vurdere bygninger på alternative måter.

Det denne rapporten dekker dårligst, er riving av bygninger og i den forbindelse gjenbruk, gjenvinning og deponering av byggematerialer. Dette er imidlertid et meget viktig område som en bør behandle i et eget prosjekt.

9 LITTERATUR

- | | | | | |
|----|----------------------------|---|------|--|
| 1 | Ahlenroth Lennart | Pilkington Floatglas Sverige | 1991 | Glasfremstillingens energiforbruk och miljobelastning. |
| 2 | All Cato, Høyer Karl Georg | Vestlandsforskningen | 1991 | Transport på sjø eller land ? VF Arbeidsdokument 12/91 |
| 3 | Ameln Haakon | Protan A/S | 1992 | 20-år med tette tak i Norden 1972 - 1992. |
| 4 | Andersen Sigurd | Institutt for husbygging Danmark R 134 | 1980 | Det akkumulerede energiforbruk til fremstilling af byggematerialer. |
| 5 | Andersen Sigurd | Institutt for husbygging Danmark R 135 | 1980 | Energiforbruget på byggeplassen. |
| 6 | Andersen Sigurd | Institutt for husbygging Danmark R 137 | 1980 | Det akkumulerede energiforbruk til fremstilling af boliger. |
| 7 | Beijer Oscar | ACI Journal/November | 1975 | Energy consumption related to concrete structures. |
| 8 | Berge Bjørn | Universitetsforlaget | 1992 | Bygningsmaterialenes økologi. |
| 9 | Biggs Malcolm et al. | Norsk Hydro a.s. Petrokjemiavdelingen | 1992 | PVC og miljø. |
| 10 | Bjørberg Svein et al. | Norges Byggforskningsinstitutt | 1993 | Årskostnader |
| 11 | Bonnevie-Svendsen M. | Byggforsk | 1994 | Samtaler |
| 12 | Boustead Ian | The Plastic Waste Management Institute, Brussel | 1991 | Ecoprofiles of the European Polymer Industry. |
| 13 | Boustead Ian et al. | APME, PWMI | 1992 | Eco-balance methodology for commodity thermoplastics. |
| 14 | Boustead Ian et al. | SETAC Workshop Portugal | 1993 | Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. |
| 15 | Brakestad Helge | Statens forurensningstilsyn | 1992 | Evaluering av gjenvinningsprosjekter |
| 16 | Brennhøy Einar | Norges Lastebileierforbund | 1993 | Samtaler. |
| 17 | Carlo Ripa di Meana | Comission of the European Communities. | 1992 | Waste. |
| 18 | Cembureau | Environmental Resources Management. London | 1993 | Review of Calculations of Carbon Dioxide Emissions per Tonne of Steel. |
| 19 | Ceuterick D. et al. | VITO Belgium | 1992 | Life cycle analysis of insulation materials. |
| 20 | Corneliussen R.G. | Ingeniørnytt nr. 8 | 1993 | Aluminium - enkelt å resirkulere. |
| 21 | Dinesen Jørn et al. | SBI-Rapport 224 Danmark | 1993 | Livcyclus-baserad bygningsprosjektering. |
| 22 | Flaa Dag | Hydro Aluminium | 1993 | Aluminium og økologi. |
| 23 | Fossdal Sverre | Norges Byggforskningsinstitutt | 1992 | Energi- og miljøregnskap for bygg Status i Norden |

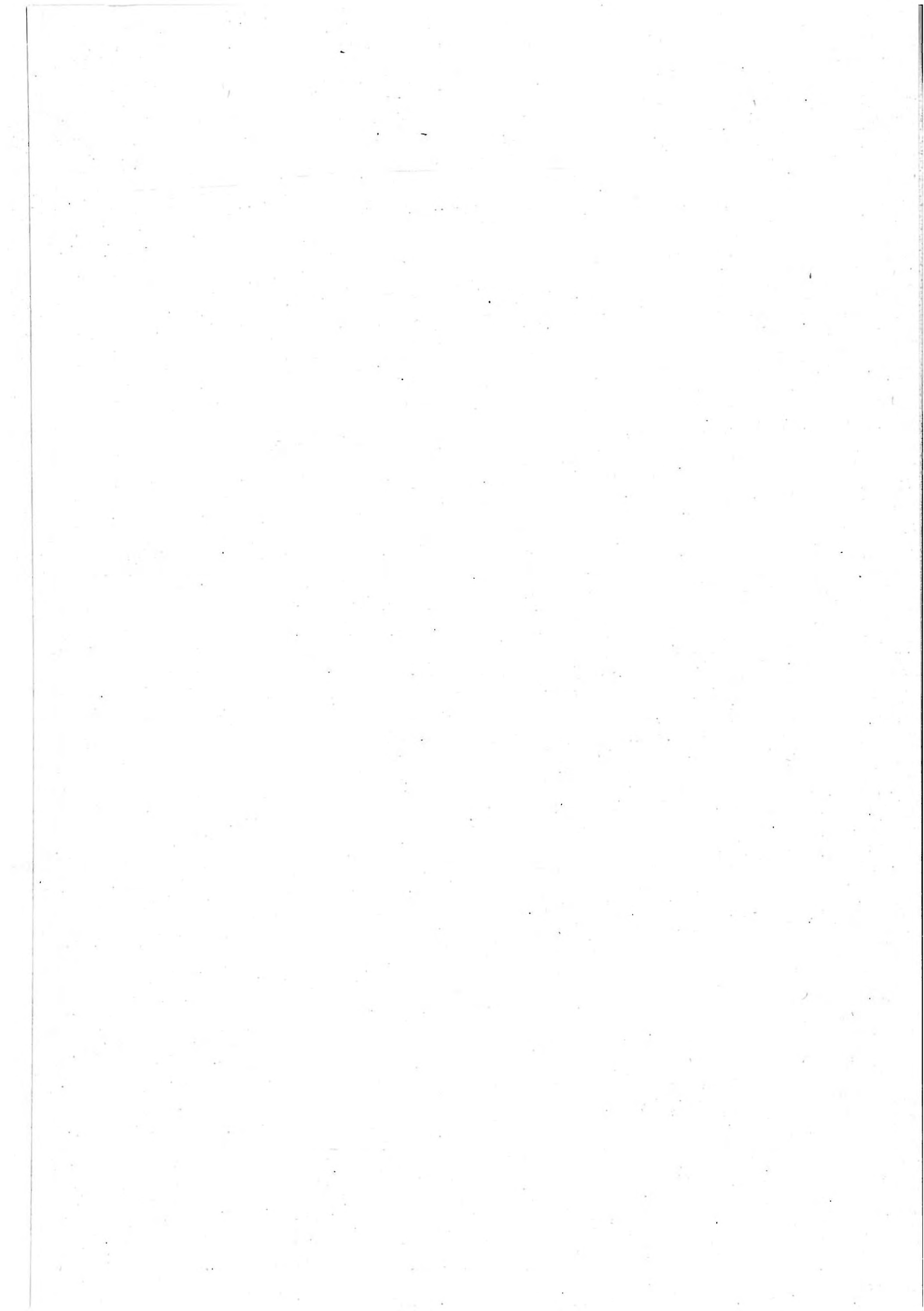
- | | | | | |
|----|---------------------------|---|------|--|
| 24 | Fraanje Peter et al. | Universitet van Amsterdam Holland | 1993 | Milicubelasting van twee aanbruggen. |
| 25 | G.E.C.Gads forlag | G.E.C.Gads forlag | 1988 | Basisbog i okotoksikologi. |
| 26 | Grange Tomas | Pilkington Floatglas AB Sverige | 1990 | Glasetts grunnleggande egenskaper. |
| 27 | Gravklev Jan Arvid et al. | NTNF, FORFOR - HYDRO | 1992 | LIVSLØPSANALYSER (LCA): Anvendelse av LCA-metode og rammebetingelser for gjennomføring. |
| 28 | Gränges group | Gränges group | 1990 | Aluminium in relation to energy and the environment. A review prepared by Aluminiumteknik. |
| 29 | Habersatter K. | Swiss Federal Office of Environmental, Forest and Landscape (BUWAL) | 1991 | Ecobalance of packing Materials. State of 1990. |
| 30 | Halstensen Jab | Norsk Tegl A/S | 1993 | Notat |
| 31 | Hansen Klaus | Miljøministeriet | 1993 | Byggeri og renere teknologi |
| 32 | Hansen O.J. et al. | Stiftelsen Østfoldforskning | 1993 | Livslopsvurderinger av drivstoffprodukter. |
| 33 | Hanssen O.J. | Norges Standardiserings-Forbund | 1994 | Life Cycle Assessment Terminology |
| 34 | Haug Knut | Rockwool Isolasjon | 1993 | Notat |
| 35 | Haugen Tore | SINTEF | 1980 | Energiforbruk i bygningsproduksjonen - netto energiutbytte ved tilleggisolering. |
| 36 | Haugene Arild et al | Trelastbransjens Opplæringsvirksomhet | 1989 | ENØK i trelastindustrien. |
| 37 | Heijungs R. et al. | Centrum voor Milieukunde Leiden Holland | 1992 | Environmental life cycle asesment of products Backgrounds. |
| 38 | Heijungs R. et al. | Centrum voor Milieukunde Leiden Holland | 1992 | Environmental life cycle asesment of products Guide. |
| 39 | Heinemann-Ufer Gustav | Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. | 1989 | Vorsorge zum schutz des klimas. |
| 40 | Hofseth Leif | H-Produkter | 1992 | Notat |
| 41 | Holst Gunnar | Norske Skog | 1993 | Notat |
| 42 | Høidalen Øivind | Norcem a.s | 1993 | Energi og miljøregnskap Dalen Fabrikker. Notat |
| 43 | Johannessen Finn Erhard | Protan | 1989 | Ingen grenser. Protans historie 1939 - 1989. |
| 44 | Jæger P.C. | Statens Forurensningstilsyn | 1988 | Utslippstillatelse Norgips A/S. |
| 45 | Jönsson Åsa | Chalmers Tekniska Högskola | 1992 | Miljo och byggande. Litteraturstudie. |
| 46 | Keoleian Gregory A. | EPA | 1993 | Life cycle design Guidance manual. |
| 47 | Knutzen Jon | Norwegian Institute for water research | 1987 | Fluoride occurrence and toxicity in aquatic organisms. |
| 48 | Krumsvik Arne | Norsk Celluloseisolasjon | 1993 | Notat |
| 49 | Lindfors L-G, et al. | Nordisk Ministerråd. | 1992 | Product Life Cycle Assessment. |

- | | | | |
|----|-----------------------------|---|--|
| 50 | Lindfors L-G, et al. | Nordisk Ministerråd. | 1994 Nordic manual on Product Life Cycle Assessment. |
| 51 | Lund Jostein, Lasse | Hovedoppgave2 SIN Skjelbred | 1992 Riving av bygninger. Organisering, metoder, gjenbruk, gjenvinning. |
| 52 | Løkkeberg Ø. et al. | Samarbeidsrådet for emballasje og miljø. | 1992 PVC og PVC-holdig engangsemballasje i Norge. |
| 53 | Malbert Bjørn | Byggforskningsrådet | 1992 Ekologisk utgangspunkt for plantering og byggande. |
| 54 | Monsen Arne | a.s. Norsk Leca | 1994 Notat |
| 55 | Olsen Vidar | Norgips A/S. | 1993 Notat |
| 56 | Opdal Tore | Norsk Treteknisk Institutt | 1992 Energiforbruk til fremstilling av landbruksbygninger av ulike materialer og konstruksjoner. |
| 57 | Opdal Tore | Norsk Treteknisk Institutt | 1990 Energiressurs - Regnskap for trevirke som bygningsmateriale. |
| 58 | Opdal Tore | Norsk Treteknisk Institutt | 1993 Notat |
| 59 | Pedersen A.V. | Anebyhus | 1994 Samtaler |
| 60 | Potting Jose, Blok Kornelis | Universiteit Utrecht | 1994 Life-cycle assessment of four types floor covering |
| 61 | Prior J.J. , Raw G.J. | Building Research Establishment | 1992 The environment and the construction Industry |
| 62 | Rebo Arne W. | Protan. | 1993 Notat |
| 63 | Richter Klaus et al. | Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie Österreich | 1993 Ökobilanzen von packstoffen in theorie und praxis - eine istandserhebung. |
| 64 | Rosland Audun | Statens forurensningstilsyn | 1987 Trafikk og luftforurensninger. |
| 65 | Rosland Audun | Statens forurensningstilsyn | 1987 Utslipps-koeffisienter. |
| 66 | Rosland Audun, Jerre Jon | Statens forurensningstilsyn | 1990 Klimagassregnskap for Norge. |
| 67 | Ryding Sven-Olof | EPA Workshop | 1993 The EPS system - a life cycle assessment concept for cleaner technology. |
| 68 | Rønning Anne | Stiftelsen Østfoldforskning | 1994 Notat |
| 69 | Sigfrid Lotta | Institutionen för Byggnadsekonomi Tekniska Högskolan i Lund | 1993 Bygg- och rivningsavfall i Holland, Tyskland och Danmark |
| 70 | Sigfrid Lotta | Institutionen för Byggnadsekonomi Tekniska Högskolan i Lund | 1994 Bygg- och rivningsavfall |
| 71 | Simonsen Ø. | Porsgrunn Bad | 1994 Samtaler |
| 72 | Sjøstrøm Christer | CIB/RILEM | 1991 Prediction of service life of building materials and components. |

- | | | | | |
|----|----------------------------------|--|------|---|
| 73 | Solvik Fred | Glava A.S. | 1993 | Notat |
| 74 | Steen Bengt, Ryding
Sven-Olof | IVL Report | 1992 | The EPS enviro-accounting method. |
| 75 | Strand. J | Sosialøkonomen nr. 6 | 1992 | Verdsetting av miljøgoder i teori og praksis |
| 76 | Strømnes Øystein | Fundia Norsk Jernverk A/S | 1994 | Notat |
| 77 | Svendsen Ole. V. | Oslo Komune Renholdsverket | 1994 | Samtaler |
| 78 | Sonju Ole | NSB Gods | 1994 | Notat. |
| 79 | Søpler Birger | Norcem a.s. | 1991 | Cement Nå ! Nr 1 |
| 80 | Theisen Fredrik | Norges Naturværnforbund | 1993 | PVC-produkter, miljørisiko og risikoreduksjon. |
| 81 | Thonvald Nils Olav | Statens forurensningstilsyn | 1994 | Avfallsreduksjon og kildesortering i byggebransjen |
| 82 | Tillman Anne-Marie | Chalmers Tekniska Högskola | 1994 | Schablonvärden för energianvändning och emissioner för godstransporter. Notat |
| 83 | Tillman Anne-Marie
et al. | Chalmers Tekniska Högskola | 1993 | Choice of system boundaries in life cycle assessment. |
| 84 | Tillman Anne-Marie
et al. | Statens offentliga utredningar Sverige | 1991 | Miljön och förpackningarna. |
| 85 | Tronstad Sverre, | Norsk Treteknisk Institutt | 1986 | Produksjon og anvendelse av sekundærvirke innen sektoren saging og hovling . |
| 86 | Utrecht Holland | Utrecht Holland | 1993 | The environmental life cycle analysis of floor coverings. |
| 87 | Vigon B.W. et al | EPA | 1993 | Life cycle assessment: Inventory guidelines and principles. |
| 88 | Viig Berit et al. | Hydro Aluminium | 1991 | Aluminium Production and ecology. |
| 89 | Vik Bjørn | Plastindustriforbundet | 1993 | Notat |
| 90 | Werner Eirik | Statens forurensningstilsyn og Gront Arbeidsliv | 1992 | Selektiv rivning av Akersgaten 57. |
| 91 | Wischers Gerd et al. | Betonwerk + Fertigteil -Technik BFT
Heft 11/Wiesbaden | 1991 | Ökobilanz von Zement und Beton. |
| 92 | Wischers Gerd et al. | Betonwerk + Fertigteil -Technik BFT
Heft 4/Wiesbaden | 1992 | Beton und Umwelt - Ökobilanz von Beton. |
| 93 | Wærner E. et al. | Statens forurensningstilsyn | 1993 | Miljoskadelige stoffer i bygg- og anleggsavfall. |
| 94 | | ATILH Paris | 1991 | Consequences sur la competitivite beton d'une eventuelle taxation sur le CO2. |
| 95 | | BERU, University of Bradford | 1984 | European Environment. |

96	Chalmers Tekniska Högskola	1992 Miljøbedømmning av byggnation och byggmaterial.
97	Comission of the European Communities.	1993 Building and demolotion waste.
98	EMPA Österreich	1992 Ökobilanz von Baustoffen und Bauprodukten aus Holz.
99	EURIMA	1991 Thermal insulation means environmental protection.
100	Hydro Aluminium	1991 Moderniseringsplanene for aluminiumsverkene på Sunndalsora og i Årdal.
101	ICONDA	1988 The future of concrete.
102	ICONDA Karlsruhe	1993 Energiebedarf Bei der Baustoffherstellung - ein Ökologische teilaspekt wie verhält sich Mandelbeton ?
103	IFIAS Stockholm	1974 Energy Analysis.
104	Industriforbundet.	1991 Metoder for vurdering av miljøbelastning från vaggan til graven.
105	Institut für ökologische wirtschaftsforschung Österreich	1991 Ökobilanz sägewerk Steiner.
106	Landbruksforlaget	1992 Grunnleggende i biologi og miljø.
107	MDC Project 52	1993 Life Cycle analysis.
108	Miljøstyrelsen Miljøprosjekt nr. 221	1993 Byggeriets materialforbrug.
109	Network Consulting, Inc. Washington	1990 Stydy of carbon dioxide emissions related to the metalurgical and nonmetallic mineral processing.
110	Norcem Cement A.S.	En introduksjon til sement og betong.
111	Norges Byggforskningsinstitutt	1992 VIF-kontrollen. Varmeisoleringsprodukter
112	NOU 1990:28	1990 Avfallsminimering og gjenvinning
113	REFORSK	1987 Återvinning av byggavfall.
114	SBI Danmark	1994 Transportdata for danske forhold. Notat
115	SBI-Anvisning 171 Danmark	1991 Nedrivning af bygninger og anlægskonstruktioner
116	SBI-medelse 93	1992 Miljøpåvirkning fra byggeri
117	Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 24	1990 Zur ökologische Bewertung des Bau- und Werkstoff Holz .
118	SFT prosjekt nr. 92/638 Renere byggebransje	1993 Virksomhet for ombruk av byggevarer

119	SIS Miljömärking	1994 Miljömerking av värmeisoleringsprodukter
120	SNV och REFORSK	1986 Styrssystem för byggavfallshandtering.
121	Statens forurensningstilsyn	1991 Forskrifter om helsefare- brannfare og eksplosjonsfaremerking
122	Statens forurensningstilsyn	1994 Forurensning i Norge 1994
123	Statistisk Sentralbyrå	1994 Naturressurser og miljø 1993
124	Statistisk Sentralbyrå og Norsk Petroleumsinstitutt	1993 Samtaler.
125	Statistisk Årbok	1991
126	The Cement Industry Ferderation Limited Sidney Australia	1991 Cement and concrete and the greenhous effekt.
127	The Norwegian Foundation for Environmental Labelling	1992 Environmental labelling of building board and panels for interior and exterior use, interior fixtures and furniture-making. Ciretiadocument
128	Transportokonomisk Institutt	1993 Samtaler.
129	Trelastbransjens Opplæringsvirksomhet	1983 Orientering om trelastindustrien .
130	VITO Belgium	1992 Eco Label Criteria for Thermal Insulation Materials.
131	VITO Belgium	1993 Life cycle inventory for wall insulation products



Vec 6

