

Bygningselementer av massivtre

Prefab units of solid wood

<i>Saksbehandler:</i>	Tor Kristensen
<i>Dato:</i>	1999-12-22
<i>Oppdragsgiver:</i>	ØkoBygg
<i>Kontaktperson:</i>	Sverre Tiltnes
<i>Oppdragsgivers ref.:</i>	6039
<i>Prosjektnr. NTI:</i>	380309

Sammendrag

I Sverige, Tyskland og Sveits har man erfaring med bruk av bygningselementer basert på massivt tre i moderne bygningssystemer. Aktiviteten i utlandet, sammen med et generelt behov for utvikling av miljøeffektive og rasjonelle konstruksjonssystemer, har gjort det interessant å se på muligheter også i Norge.

Som en del av arbeidet med å etablere og utvikle denne typen konstruksjonssystem i Norge og for norske forhold, er siste nytt på området sammenfattet. Studien viser at muligheten for å etablere og utvikle miljøeffektive, rasjonelle og konkurransedyktige konstruksjonssystem basert på massivtre for norske forhold burde være gode.

En økonomisk vurdering som er gjennomført av etasjeskiller, svalgangselement og balkongelement, viser at massivtreelementer i mange tilfeller vil være et kostnadseffektivt alternativ til andre konstruksjonssystemer. En videre satsning anbefales for å utvikle produksjon, montasje og konstruksjonsdetaljer, bl.a. gjennom pilotprosjekter.

Det kan være en "pedagogisk utfordring" å vise at det er greit å bruke mer trevirke enn i dagens lite treintensive konstruksjoner. Imidlertid viser det seg at massivtrebygging kan være et bidrag til mer kretsløpstilpasset bygging.

<i>Stikkord:</i>	Massivtre, bygningselementer, trekonstruksjon
<i>Keywords:</i>	<i>Massive timber, prefab units, timber structure</i>

Summary

Countries like Sweden, Germany and Switzerland have a lot of experience and know-how on the application of solid wood units in modern constructions. Solid wood prefab unit systems are made from laminated boards that are joined together with for instance pre-stress wire, nails or wooden pegs. This fact, together with a general need for time, cost and environmentally rational and efficient building methods, makes it a current topic also in Norway.

As part of an effort to establish and develop this construction method in Norway, the state-of-the-art has been summarized and an economic evaluation of solid wood decks and decks for balconies and galleries have been performed.

The study indicates that the possibilities for development of environmentally efficient building methods based on solid wood prefab units for Norwegian conditions should be favourable. The economic evaluation indicates that solid wood prefab units in many cases could be a cost efficient alternative. A further commitment and contribution in developing production, construction and construction features is recommended.

Forord

En industrigruppe har i samarbeid med Norsk Treteknisk Institutt (NTI) gjennomført et forprosjekt der man ser på muligheter for kommersiell fremstilling av bygningselementer av massivt tre i Norge. Miljøaspekter og tekniske, økonomiske og markedsmessige forhold er vurdert. Dette vil danne et beslutningsgrunnlag for en eventuell industriell satsing. Prosjektet har mottatt støtte fra programmet ØkoBygg og fem industribedrifter. Prosjektansvarlig har vært Kurt Johansson (Byggholt a.s) og prosjektleder har vært Tor Kristensen (NTI).

Industrigruppen har bestått av:

Kurt Johansson, Byggholt a.s

Åge Holmestad, Mocon AS

Haumann Sund, Moelven Industrier ASA

Magnar Gilde, Ole Stjern A/S

Torgeir Verdal, Birkeland Bruk A/S

Per Halvorsen, Forestia AS

.....

Tor Kristensen

Oslo, 1999-12-22

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
Forord	5
Innhold	7
1. Innledning	8
2. Hvorfor massivtre?	9
2.1. Generelt	9
2.2. Arkitektoniske muligheter	12
3. Massivtrebygging	13
3.1. Aktuell litteratur	13
3.2. Historikk	13
3.3. Konstruksjonssystemer	14
3.4. Teknikk, økonomi og produksjon	19
4. Økonomisk vurdering	21
4.1. Valg av eksempler	21
4.2. Etasjeskiller	21
4.3. Balkongplate og svalgangselement	23
5. Energi- og miljøeffektivitet	25
5.1. Introduksjon	25
5.2. Litteraturstudie	28
5.3. Eksempelstudie	30
5.4. Diskusjon	42
6. Konklusjon	53
Litteraturliste	54
Vedlegg	60

1. Innledning

I Sverige, Tyskland og Sveits har man erfaring med bruk av bygningselementer av massivtre i moderne bygningskonstruksjoner. Aktiviteten i utlandet, sammen med et generelt behov for utvikling av miljøeffektive og rasjonelle konstruksjons-systemer, gjør det interessant å se på mulighetene også i Norge.

Figur 1.1. Eksempel på utførelse av bjelkelag av massivtre.
An example of a solid wood deck construction.

Figur 1.1 viser et eksempel på utførelse av bjelkelag av massivtre. Prinsippet for konstruksjonssystem av massivtre er at planker eller bjelker sammenføres til elementer ved spikring, liming, bruk av tredybler eller strekkstag. Elementene kan brukes til både gulv, vegger og tak. Overflatene kan brukes ubehandlet, eller slipes og deretter påføres lakk, olje eller maling. For å oppnå spesielle egenskaper, kan elementene suppleres med himlingsplater, isolasjon, kledning eller påstøp. Elementene vil kunne konkurrere med eller være et supplement til elementer laget av ikke-fornybare ressurser som betong og lettklinker.

Skogeiere og sagbruk er opptatt av at man ved bruk av denne typen elementer vil kunne bruke lavkvalitetsvirke. Dette er virke som ellers ikke ville bli utnyttet, eller som ville gå til produksjon av produkter med langt lavere verdiskaping.

Entreprenører er opptatt av de nye mulighetene og fordelene massivtreelementer representerer i forhold til etablerte systemer, som f.eks. færre sjikt og færre arbeidsoperasjoner, lavere vekt, mindre konstruksjonshøyde og fleksibilitet mht. tilpasning og hulltaking samt renere arbeidsplass og bedre arbeidsmiljø.

Som en del av arbeidet med å etablere og utvikle miljøeffektive og rasjonelle konstruksjonssystem basert på bygningselementer av massivtre for norske forhold, sammenfattes her siste nytt på området.

2. Hvorfor massivtre?

2.1. Generelt

Interessen for utvikling av fleretasjes trehus er stor. Høsten 1999 avsluttes Nordic Wood-prosjektet "Flervåningshus i tre". Innenfor rammene av dette prosjektet ble en rekke fleretasjes trehus oppført i de nordiske landene (Träinformation 2/99). I Trondheim ble "Solbakken" oppført med Block Watne AS som utbygger og byggherre.

Ikke minst er miljøaspektene viktige. De aspektene det fokuseres på, er fornybarhet (erstatte produkter basert på ikke-fornybare råvarer), bedre utnyttelse av råvarer (utnytte f.eks. lavkvalitetsvirke og sidebord), lav vekt (energieffektiv transport og håndtering) og færre sjikt og materialer (økte muligheter for gjenbruk og gjenvinning), samt at man kan bygge ved grunnforhold der en tung konstruksjon ville kreve omfattende fundamenteringsarbeid.

Figur 2.1. Eksteriør fra "Lotsen", et femetasjes kontorbygg i tre (foto: NTI).
Exterior from "Lotsen", a five floor wooden office building.

Utviklingen av fleretasjes trehus er mulig som følge av overgangen til funksjonsbaserte byggregler. For en lett konstruksjon vil kravene mht. brann, lyd (spesielt trinnlyd) og stabilitet være svært krevende å tilfredsstille.

I Norden har til nå de systemene som brukes til fleretasjes trehus vært basert på bindingsverksystem hentet fra USA. Imidlertid har man i Mellom-Europa i lang

tid prøvd ut en annen type konstruksjonssystem. Disse konstruksjonssystemene tar utgangspunkt i gamle tradisjoner med laftete tømmerhus.

Tømmerhus er velkjente både i Skandinavia og i Øst- og Mellom-Europa, men mangel på trevirke og økte krav til isolering førte til en utvikling mot lettere og mer sammensatte konstruksjoner. Utviklingen gikk via reisverk og plankekonstruksjoner til bindingsverk kledd med bygningsplater og isolert med mineralull.

Bygninger har etter hvert utviklet seg til kompliserte og sammensatte system, der bygningens ytelse (egenskaper) er helt avhengig av de ulike delenes funksjon. Bindingsverk av tre er et eksempel på en konstruksjon som er sammensatt av en rekke materialer og sjikt, og som er svært følsom bl.a. overfor dårlig utførelse og skader i bruksfasen.

Lette konstruksjonssystemer som bindingsverk, har sine fordeler og ulemper. Det samme gjelder konstruksjonssystemer basert på f.eks. lettklinker og betong. Imidlertid gjelder det å velge riktig system i den enkelte situasjon, og konstruksjonssystemer av massivtre vil i en slik sammenheng kunne være et viktig supplement til eksisterende systemer.

Figur 2.2. Interiør fra "Lotsen" (foto: NTI).
Interior from "Lotsen".

"Lotsen" i Ursviken utenfor Skellefteå er med sine fem etasjer Sveriges høyeste kontorbygg i tre. Den har fasade av trepanel, bjelkelag av massivtreelementer,

søyler av limtre og bjelker av limtre og stål. Figur 2.1 og 2.2 viser henholdsvis fasaden sett fra parkeringsplass og åpning mellom to etasjer sett fra undersiden.

2.2. Arkitektoniske muligheter

Av siv. ark. Bodil Reinhardsen.

Massive trekonstruksjoner gir arkitekten muligheten til å prosjektere ”enklere” bygninger. Et element i massivtre kan erstatte flere sjikt i dagens konstruksjoner. En massiv trevegg vil f.eks. kunne være bærende, utgjøre den innvendige overflaten og virke isolerende.

I det en velger massive trekonstruksjoner både for vegger og dekker (gulv/tak), oppstår muligheten til å arbeide med tredimensjonale strukturer. Samme overflate i vegg, gulv og himling vil kunne gi helhetlige, romlige kvaliteter. (Hvordan elementene settes sammen er avgjørende.) Strukturer i massivtre vil kunne gi følelsen av ekthet og soliditet tilsvarende det vi kjenner fra våre tradisjonelle laftehus.

Massive trekonstruksjoner gir sunne bygninger. Massive trekonstruksjoner bidrar til et godt inneklima og god luftkvalitet, i det materialet i seg selv er fuktregulerende, har god varmelagringssevne og dessuten er et 100 % naturprodukt. Overflaten på massive treelementer kan behandles på mange måter; maling, lasur, lakk, olje, voks etc. Det bør velges produkter som gjør at treet kan ”puste”.

Massive treelementer innehar egenskaper som gir nye konstruktive muligheter. Dekkeelementer i massivtre (limte, spikrede eller tverrspente bordstabelementer) kan ta store spennvidder med liten elementtykkelse. (Dekketykkelsen er tilnærmet halvparten av dimensjonen på et vanlig trebjelkelag og noe mindre enn dimensjonen på et betongdekke.) Å lage åpninger i massive veggelementer er enkelt, da hele veggflaten tar bæring.

Massive trekonstruksjoner muliggjør prosjektering av større trehus. Massive treelementer kan brukes som brannskillevegger mellom leiligheter i bygninger opp til fire etasjer. Dette gjør det mulig å bygge ”ekte” trebygninger, helt uten bruk av gipsplater eller betong.

Et konstruksjonssystem av massivtre kan muliggjøre en ny type ”ferdighus”. Enhver bygning må spesialtegnes av arkitekten, slik at den passer en gitt funksjon og får et bevisst forhold til sine omgivelser.

Hvis arkitekten prosjekterer ut fra systemets ”regler” for sammenføyninger, dimensjoner etc. kan arkitektens datategninger (dataassistert konstruksjon [DAK]) overføres direkte til sagbrukets/produksjonsenhetens maskiner (dataassistert produksjon [DAP]). Selve produksjonen av huset effektiviseres, samtidig som man vil kunne oppnå trekonstruksjoner av høy kvalitet.

3. Massivtrebygging

3.1. Aktuell litteratur

Instituttet för träteknisk forskning (Trätekt) i Sverige har gitt ut tre rapporter om henholdsvis konstruksjonssystemer basert på massivtre i Mellom-Europa, vegger av massivtre og om utviklingsprosjektet "Vetenskapsstaden", samt et faktablad om bjelkelag av massivtre (Gustafsson, 1997; Gustafsson, 1998; Trätekt, 1997; Trätekt, 1996).

Det svenske tidsskriftet "Träinformation" hadde i mars 1998 et temanummer om "massivträbyggande". I dette nummeret presenteres bl.a. forsamlingshjemmet i Nora, mineralparken i Varuträsk, kontorbygget "Lotsen" i Ursviken utenfor Skellefteå og utviklingsprosjektet "Vetenskapsstaden". Wik et al (1999) beskriver og kommenterer bygninger som ble besøkt og seminar som ble avholdt i forbindelse med en studietur til USA og Sveits høsten 1998. En nordisk studietur til Skellefteå omtales i Treteknisk Informasjon nr. 3/99. Tidsskriftene «Bauen mit Holz» og "Schweizer holzbau" har en rekke ganger omtalt ulike byggeprosjekter.

Andre referanser er gitt i teksten.

3.2. Historikk

Som nevnt tar moderne massivtrebygging utgangspunkt i gamle tradisjoner med laftete tømmerhus. Laftehus er velkjente både i Skandinavia, Øst-Europa og Mellom-Europa, og utviklingen gikk via reisverk til bindingsverk kledd med bygningsplater og isolert med mineralull.

Laftehus er kjent fra barskogområdene i Europa, samt i enkelte områder av det fjerne Østen. Teknikken var trolig i bruk Norge allerede på vikingtiden, og ble "antagelig innført østfra og avløste eldre byggemåter som stein- og torvhus med stolpebårne tak". (NBI, 723.304)

Reisverk er kjent fra slutten av 1700-tallet ('reise tømmeret på ende'). Metoden fikk stor utbredelse i sveitserstilperioden (1850-1900), og gikk ut av vanlig bruk i 1920-årene. "Reisverksveggen avløste lafteveggen fordi den var materialbesparende, og fordi krympingen er minimal i stolpens og plankens lengderetning. En fikk mindre problemer med trapper og piper, og huset kunne paneles og innredes straks etter oppføringen." (NBI, 723.305)

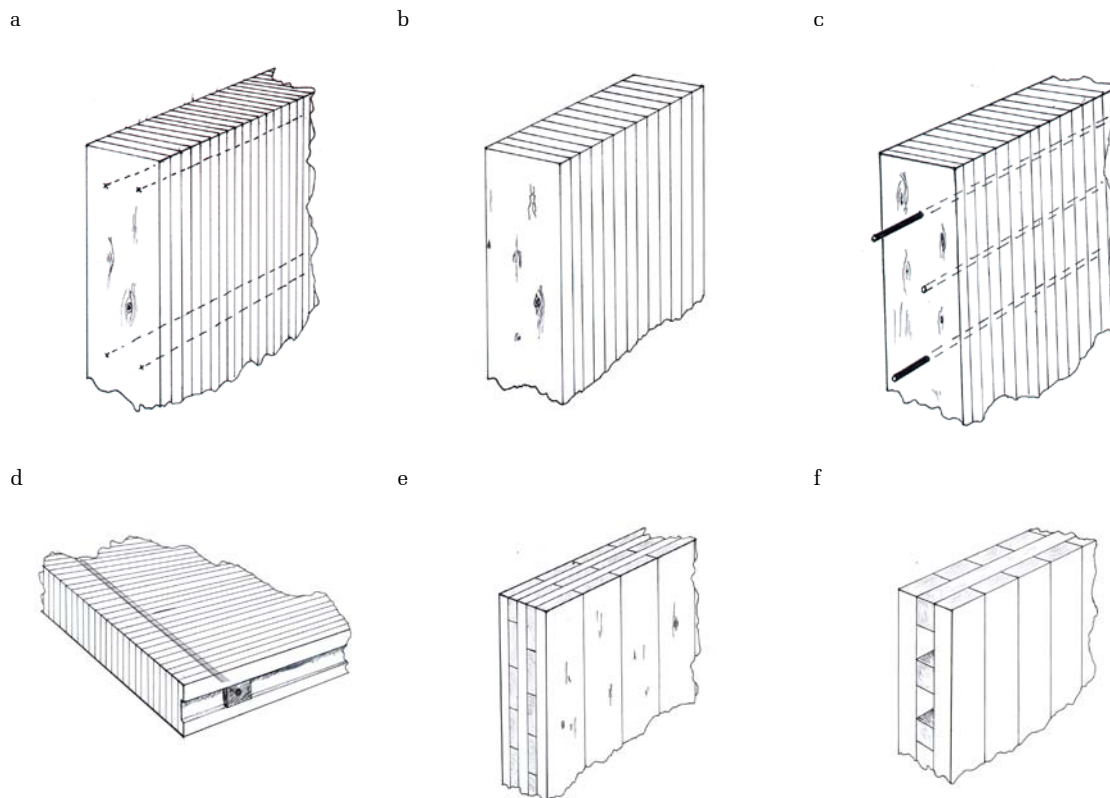
"Til hele bolighus ble bindingsverket først benyttet utmurt med teglstein, særlig i bymessig bebyggelse. Først etter ca. 1900 ble bindingsverk med paneler vanlig i boliger. Bindingsverk har imidlertid vært benyttet langt tidligere for uisolerte konstruksjoner som låver, pakkhus, sjøboder, kirketårn, bislag, gavler osv." (NBI, 723.305)

I følge Samuelsson (1998) begynte utviklingen av moderne massivtrebygging tidlig på 90-tallet i Mellom-Europa, ved de tekniske høgskolene i Zürich og Lausanne, der arbeidet som ble bedrevet i Lausanne under professor Julius Natterer, fikk størst oppmerksomhet.

3.3. Konstruksjonssystemer

3.3.1 Generelt

I de følgende kapitler presenteres en del av de konstruksjonssystemene basert på massivtre som eksisterer, med utgangspunkt i en oversikt gitt i det tyske tidsskriftet «Bauen mit Holz» nummer 5/97, en rapport fra Gustafsson (1997) og inntrykk fra en studiereise til Skellefteå våren 1999. Figur 3.1 viser aktuelle prinsipper for moderne konstruksjonssystemer basert på massivtre.



Figur 3.1. Aktuelle prinsipper for moderne massivtrebygging er plank sammenføyet med spiker (a), lim (b) eller tredybler (c), tverrspanning (d), limte flersjiktspalter (e) og limte flersjiktspalter med hulrom (f).

Current solutions for application of solid wood units in modern construction are boards joined together with nails (a), glue (b) or wooden pegs (c), prestressing (d) and glu laminated multi-layer boards with (e) or without (f) cavities.

3.3.2 Spikrede bordstabelementer

"Brettstapelbauweise" er en byggemetode der sidebord, gjerne i lav sorteringsklasse, stilles på høykant og sammenføres ved spikring. Denne metoden ble beskrevet så tidlig som i 1942, og ble da presentert som "Rippenbauweise zur Herstellung von massiven Holzwänden"¹. Professor Natterer har senere videreutviklet systemet. (BmH, 1997)

Figur 3.2. Montering av spikrede bordstabelementer (foto: hiwo).
Construction with nail laminated prefab units.

"Brettstapel" eller bordstabelementer kan brukes både til vegger og dekker, og kan fremstilles i fabrikk eller på byggeplass. Vegger kompletteres gjerne med isolasjon og utvendig kledning. I Tyskland utføres gjerne dekker med påstøp av betong. Dette kan gjøres for å oppnå samvirke eller bedre akustiske egenskaper. Bordstabelementer kan også brukes som tak (BmH, 1998).

Firmaet "hiwo" - Holzindustrie Waldburg zu Wolfegg GmbH & Co. KG², en av mange leverandører av bordstabelementer, har gitt ut en håndbok i bordstabelbygging. De har dessuten utviklet profiler med spesielle egenskaper mht. akustikk, samvirke mellom lameller og kabelstrekking. (hiwo, 1998.)

Montering av spikrede bordstabelementer er vist i figur 3.2. Fremstilling og bruk av bordstabelementer er utførlig beskrevet i det tyske fagtidsskriftet «Bauen mit Holz» 1/97 og 2/97 samt av Natterer (1997).

¹ No. "ribbebyggemetode for fremstilling av massive trevegger"

² <http://www.lgabw.de/bwl/lga/hdw/abt3/ref34/it/eberle97/08hiwo.htm>

3.3.3 Dyblede bordstabelementer

Tschopp Holzbau har utviklet "BRESTA". Dette er vegg- og dekkeelementer av bord sammenføyet med tredybler presset inn i forborede hull. I følge Gustafsson (1997) anser man med dette å få til høyere bøyestivhet og bedre kvalitet sammenlignet med spikrede bordstabelementer. Innfesting av elementene skjer med vinkelbeslag. Under vinduspartier brukes liggende elementer. Dekker kan forsynes med en statisk samvirkende påstøp. Montering av dyblede bordstabelementer er vist i figur 3.3.

Figur 3.3. Montering av dyblede bordstabelementer (foto: Tschopp Holzbau).
Construction with wooden peg laminated prefab units.

3.3.4 Limte elementer

Tradisjonelt limtre

Martinsons Trä AB³ har spesialisert seg på leveranse av limte elementer til massivtrebygging. Elementene er 1.030 mm brede med tykkelse mellom 90 og 215 mm, og maksimal lengde på 8.000 mm. Dessuten har de vært med på å utvikle et konsept for parkeringshus av massivtre. Elementer fra Martinsons Trä AB er bl.a. brukt i undervisningsbygget "Prefekten" i Skellefteå.

Flersjiktsplater

MERK-HOLZBAU GmbH & Co⁴ leverer flersjiktsplater under produktnavnet "MERK-Dickholz". Dette er massive plater limt sammen av krysslagte lameller av gran eller furu. Platene består av minimum 5 lag lameller (normalt 5, 7 eller 9 lag) og brukes til vegger og etasjeskillere.

³ <http://www.martinsonstra.se>

⁴ <http://www.merk.de/>

Figur 3.4. Flersjiktplate brukt i yttervegg (illustrasjon: MERK-HOLZBAU).
Multi-layer solid wood in external wall.

Bruk av flersjiktplate i yttervegg er vist i figur 3.4. For ytterligere informasjon, se tidsskriftet «Bauen mit Holz» 5/97. Der presenteres også "WIWA Holztafel-elemente", som er elementer av limte flersjiktplater komplettert med isolasjon og kledning.

3.3.5 Tverrspente elementer

Forspenning

Massiva Träprodukter AB (MTAB) leverer forspente vegg- og dekkeelementer av massivtre (figur 3.5.). Produksjonen foregår ved at bord legges på høykant i en rigg, og det bores hull til strekkstagene. Deretter settes trykkfordelingsplater på plass, bordene presses sammen, strekkstagene sveises til trykkfordelingsplatene, og utstikkende ende av strekkstaget kappes. Bruk av sveis og kapp istedenfor mutter og gjenger gjør at man ikke får utstikkende deler langs elementsiden, men man mister samtidig muligheten for etterstramming.

Figur 3.5. Forspente elementer fra MTAB i Skellefteå (foto: NTI).
Prestressed prefab units from MTAB, Skellefteå, Sweden.

Elementene monteres ved å legge inn en løs "not" før elementene plasseres inntil hverandre (figur 1.1). Fordi trevirket nærmest staget presses mer sammen enn trevirket lenger fra staget, oppstår en ujevn sprekk i elementskjøtene. Denne sprekken skjules ved at det freses et spor og legges en innfyllingslist i elementskjøten.

MTAB har bl.a. levert elementer til det femetasjes kontorbygget "Lotsen" i Ursviken utenfor Skellefteå. Dekkene består av 2 til 2,4 m brede og inntil 13 m lange elementer. Ved prosjekteringen ble det tatt hensyn til at forspenningen skulle tåle 3 % endring i trefuktighet, og elementene holdt ca. 9 % trefuktighet ved montering. Trefuktigheten var imidlertid nede i 4 til 5 % vinteren 98/99, og man har fått sprekker mellom innfyllingslist og ytterste lamell i elementene. En av årsakene er trolig at den ytterste lamellen var tykkere (av hensyn til forspenningen), og holdt en høyere fuktighet (trolig 12 %) ved produksjonen.

Det arbeides med å forbedre og dokumentere systemet.

Tverrspenning av limte elementer

Martinsons Trä AB har bl.a. levert limte elementer til undervisningsbygget "Prefekten" i Skellefteå (figur 3.6). De 190 mm tykke elementene med ferdigborede hull ble lagt ved siden av hverandre og spent sammen på byggeplass til seksjoner á 8.500 mm. Senteravstand mellom opplegg var ca. 6.000 mm. Stålstagenes diameter var 16 mm og senteravstanden 1.000 mm. Underliggende stålkonstruksjon ble dimensjonert opp av hensyn til vibrasjoner fra gangtrafikk i korridorer. Elementene er festet til stålbjelker med treskrue skrudd gjennom stålplate som er sveiset til flensen.

Figur 3.6. Interiør fra "Prefekten" i Skellefteå (foto: NTI).

Interior from "Prefekten", Skellefteå, Sweden.

3.3.6 Hulromselementer

Flere typer hulromselement eksisterer, bl.a. "STEKO Holzmodul-Systeme"⁵, som er byggeklosser av tre som stables som betongblokker, og LIGNOTREND.

Figur 3.7. Hulromselementer til vegg (foto: LIGNOTREND).
Multi-layer solid wood prefab units for wall purposes.

LIGNOTREND Klimaholzhaus AG⁶ produserer elementer både til vegg, tak og etasjeskillere (figur 3.7). De lages av krysslågt trevirke som limes sammen slik at det oppstår hulrom i veggen. Elementene produseres med bredder fra 375 til 1.250 mm og valgfrie lengder. For veggelementer vil det som regel si full høyde. Bedriften produserer elementer som distribueres til franchiseselskap i Tyskland, Østerrike og Sveits. Dette er stort sett mindre byggmestere som både selger og monterer elementene (Gustafsson, 1997). I brosjyremateriell hevdes det at ytterveggelementene kan brukes uten dampspærre, noe mange vil synes er interessant. Dette vil bl.a. gi gode muligheter for å utnytte trevirkets evne til å ta i mot, akkumulere og avgi varme og fuktighet.

3.4. Teknikk, økonomi og produksjon

Å oppholde seg i et tømmerhus eller andre bygninger basert på massive trekonstruksjoner, gir en spesiell følelse av komfort. Dette kan skyldes følelsesmessige inntrykk og akustikk, men også evnen en tyngre trekonstruksjon vil ha til å jevne ut døgnvariasjoner i relativ luftfuktighet og temperatur.

⁵ <http://www.steko.ch/>

⁶ <http://www.lignotrend.de/>

Figur 3.8. Produksjon av forspente massivtreelementer hos MTAB i Skellefteå.
Manufacturing of prefab units at MTAB, Skellefteå.

Trelastindustrien ser et stort potensial i å øke omsetningen av trelast med relativt lav kvalitet, samtidig som man regner med at trelast- og treindustrien ved industriell produksjon skal kunne levere elementer til en konkurransedyktig pris og med høy foredlingsgrad.

Tre har gode varme- og fuktegenskaper, akustiske egenskaper, lav vekt, høy brannmotstand og er lett å bearbeide. Massivtre har allsidige bruksområder, og kan brukes både som vegg-, dekke- og takelementer, samt konstruksjonsdetaljer. Elementer av massivtre kan klare store punktlaster, og kan brukes som stabiliserende eller avstivende skiver. Ved montasje kan komplettering gjøres på byggeplass uten spesialverktøy.

Med et bæresystem av massivtre kombineres betongens fordeler knyttet til varmelagring og bæreevne med lette trekonstruksjoners fordeler knyttet til vekt og fleksibilitet. Massivtreelementer veier omtrent en femtedel av betongelementer, og dette gjør at man med enklere utrustning kan håndtere større element og dermed få mer kostnadseffektiv og raskere montasje. Dessuten kan man bygge ved grunnforhold der en tung betongkonstruksjon ville kreve omfattende fundamenteringsarbeid.

Muligheter for økonomiske besparelser ligger også i at man kan få til enklere konstruksjoner med færre sjikt og færre arbeidsoperasjoner. Dessuten kan elementenes overflate i en del tilfeller brukes ubehandlet eller etter enklere behandling. Andre fordeler kan være mindre konstruksjonshøyde, fleksibilitet knyttet til tilpasning og hulltaking, og enklere og rimeligere innfesting av installasjoner.

Det viser seg at de fleste tekniske spørsmål som brann, statikk og installasjoner relativt enkelt lar seg løse. Imidlertid kan det til en del formål være vanskelig å få til tilfredsstillende lydegenskaper uten å lage kompliserte løsninger der elementenes overflater kles inn. Teknikk, økonomi og produksjon er ellers drøftet bl.a. av Gustafsson (1998).

4. Økonomisk vurdering

4.1. Valg av eksempler

For å belyse økonomi og kostnadseffektivitet ved konstruksjonssystem av massivtre, er det valgt å studere noen konkrete eksempler. Valg av eksempler er basert på hvilke bruksområder og formål som i første omgang antas å være aktuelle. De valgte eksempler må derfor betraktes som et lite utvalg blant det utall av bruksområder som finnes for konstruksjonssystem av massivtre i moderne byggevirkosomhet.

Økonomisk vurdering er gjennomført for følgende eksempler:

Etasjeskiller til enebolig eller rekkehus innen samme boenhet.

Balkongplate.

Svalgangselement.

4.2. Etasjeskiller

Første eksempel er etasjeskiller innen samme boenhet til enebolig og rekkehus, der det er valgt å sammenligne massivtre med lett trebjelkelag. Beregningene er basert på opplysninger fra Johansson (1999), Gilde (1999), Holmestad (1999), Nilsson (1999), samt kalkulasjonsnøkkelen fra HolteProsjekt (1999).

4.2.1 Etasjeskiller av massivtre

Det er her tatt utgangspunkt i en løsning som tilsvarende den fra MTAB i Skellefteå, der etasjeskilleren bygges opp av forspente elementer. Elementenes underside eksponeres som den er, mens oversiden slipes og lakkes. Trevirkets overflate må være fri for blåved, vankant etc.

Følgende antagelser er gjort for etasjeskiller av massivtre:

Tykkelse 145 mm og trevirke klasse C 24.

Lengde 8.096 mm med midtopplager og bredde 12.296 mm (kan seksjoneres).

Stag c/c 900 mm og spennkraft 7 tonn pr. stag.

4.2.2 Lett trebjelkelag

Det er tatt utgangspunkt i en standard etasjeskiller. Dette er et halvisolert, lett trebjelkelag med bjelker av I-profil og 100 mm isolasjon. Det er 22 mm spon og parkett (eik, ask eller lønn) på oversiden og panel på undersiden. Kabler til takpunkt trekkes gjennom steget på bjelkene.

4.2.3 Beregninger

Beregnet kvadratmeterpris for de alternative løsningene er gitt i tabell 1.

<i>Oppbygging</i>	<i>Massivtre</i>	<i>Lett trebjelkelag (HolteProsjekt)</i>	<i>Lett trebjelkelag (Johansson)</i>
Parkett (eik, ask eller lønn)		307	x
Overflatebehandling	100		
Parkettunderlag		24	x
Sponplate		132	x
Bjelker I-profil, c/c 600 mm		151	x
Mineralull A-plate		53	x
Massivtreelement (145 mm)			
- leveranse	620		
- montering	50		
Spikerslag, c/c 400 mm		46	
Trepanel himling, furu		164	x
SUM [kr/m ²]	770	876	700 til 800

Tabell 1. Beregnet kvadratmeterpris for etasjeskiller.
Table 1. Calculated cost per square metre of solid wood deck.

4.3. Balkongplate og svalgangselement

Andre eksempel er balkongplate til flerfamiliehus etc. Det er valgt å sammenligne balkongplate av massivtre med slakkarmert, prefabrikkert betongplate. Tredje eksempel er svalgangselement til flerfamiliehus etc. Det er valgt å sammenligne svalgangselement av massivtre med slakkarmert, prefabrikkert betongplate. Det er tatt utgangspunkt i svalgangselementer med dybde 1,4 m og bredde 7,2 m.

Ulike kostnader mht. bæresystem, fundamenter etc. er ikke tatt hensyn til.

4.3.1 Balkongplate av massivtre

Ryga AB har i samarbeid med Trätek i Skellefteå utviklet en balkongplate i massivtre. Under 7 tonns trykk presses plank sammen til en massiv plate. Platen holdes sammen med strekkstag som sveises i endene. Disse stagen fungerer også som fester til rekkverk. I følge Ryga AB er fordelene med platen at den er miljøvennlig og giftfri. Den er minst like bestandig som en plate av betong, samtidig som den veier kun en tredjedel av en betongplate. Imidlertid har det vist seg at den er dyrere enn betongplater, og dette begrunnes med at "varje platta kräver en hel del arbetskraft, och arbetskraft kostar pengar".

Istedenfor balkongplate av tverrspente elementer er det tatt utgangspunkt i en limtreplate - overflatebehandlet med et system fra Axonite AB i Skellefteå. Dette systemet består av diffusjonsåpen maling og et påstrykningsmiddel som gjør overflaten sklisikker. Det antas en tykkelse på 145 mm.

4.3.2 Svalgangselement av massivtre

Det er også her tatt utgangspunkt i en limtreplate - overflatebehandlet med det samme systemet som balkongplaten. Det antas en tykkelse på 200 mm.

4.3.3 Slakkarmerte, prefabrikkerte betongelement

Det er tatt utgangspunkt i standard slakkarmerte, prefabrikkerte betongelementer. Selvkost for denne typen elementer inkl. leveranse, montering og ferdigstilling av overflate er i følge Johansson (1999) ca. 1.150 til 1.500 kr/m² for balkongplate og ca. 1.150 kr/m² for svalgangselement.

4.3.4 Beregninger

Beregnet kvadratmeterpris for de alternative løsningene er gitt i tabell 2.

<i>Oppbygging</i>	<i>Balkongplate av massivtre</i>	<i>Balkongplate av betong</i>	<i>Svalgang av massivtre</i>	<i>Svalgang av betong</i>
Element				
- leveranse	620	x	800	x
- montering	50	x		x
Oljegrunding	27		27	
Axonite, färg				
- leveranse	41		41	
- påføring	9		9	
Permagur, belegg				
- leveranse	95		95	
- påføring	10		10	
SUM [kr/m ²]	852	1.150 til 1.500	982	1.150

Tabell 2. Beregnet kvadratmeterpris for hhv. balkongplate og svalgangselement.
Table 2. Calculated cost per square metre of balcony and gallery deck.

5. Energi- og miljøeffektivitet

5.1. Introduksjon

5.1.1 Bakgrunn og behov

Miljøbelastningen knyttet til bygningers livsløp er betydelig. Aksjonsprogrammet ØkoBygg er et initiativ fra bygge- og eiendomsbransjen til en koordinert og helhetlig satsing på miljø. Et av resultatområdene er miljøeffektive produkter og konstruksjoner. ØkoBygg har støttet prosjektet "Bygningselementer av massivt tre" fordi det er behov for kunnskap om energi- og miljøeffektiviteten ved konstruksjonssystemer basert på massivtre.

ØkoBygg har en varighet på fem år (1998 til 2002), og har følgende mål:

Energi:

Stimulere til bruk av løsninger som minsker det totale energibehovet i bygg- og anleggssektoren, bidra til at energifleksible systemer og nye fornybare energikilder blir mer utbredt, og bidra til at bevisstheten om energibruk blir større blant eierne og forvalterne.

Materialer:

Bidra til større materialeffektivitet, at bruken av restprodukter økes, og at avfallsmengdene til deponi reduseres. Dessuten medvirke til at det blir tatt mer hensyn til fornybarhet, råstoffreserver og/eller mulighetene for resirkulering når det velges materialer.

Helse- og miljøskadelige stoffer:

Bidra til å oppfylle Stortingsmelding 58, hvor det er spesifisert stans eller reduksjon av en rekke navngitte miljøgifter, bidra til at bygningene ikke inneholder produkter som har negative virkninger for folks helse eller skader miljøet, utvikle indikatorer for å følge opp bransjens prestasjoner. Indikatorene skal være lette å vedlikeholde. Indikatorene vil i øvrig også gjelde energi- og materialressurser.

Biologisk mangfold:

Fremme planlegging og bygging som tar hensyn til helse, miljø og biologisk mangfold, og bidra til at dette gir fortrinn.

Utslipp av klimagasser:

Utvikle systemer for å følge opp kravene til mindre utslipp av klimagasser.

5.1.2 Avgrensning og organisering

En rekke metoder kan brukes til å vurdere byggevarer og bygningers miljøegenskaper. Det spenner fra forenklete metoder for klassifisering av bygninger som engelske BREEAM, svenske MAB eller norske Økoprofil via miljørettet produktutvikling til miljøkonsekvensanalyser og livsløpsvurdering.

Miljømerking og miljødeklarasjoner kan brukes til dokumentasjon. Såkalte miljøindikatorer eller miljøprestasjonsindikatorer kan brukes for å vise trender i virksomhetens eller produksjonens miljømessige utvikling.

Trender innen miljøvurdering av bygninger er beskrevet av Cole (1998). I det følgende er det valgt å fokusere på Økoprofil, miljødeklarasjoner og livsløpsvurdering (LCA).

Økoprofil er en metode for forenklet miljøvurdering av bygninger, og skal gi et bilde på byggets ressurs-/energi- og miljøprofil. Kriterier er delt inn i hovedområdene ytre miljø, ressurser og inn klima. Materialer er et delområde under ressurser. Dette delområdet er ennå ikke implementert for næringsbygg, mens implementering for boliger pågår. (Pettersen, 1999)

Arbeidet med miljødeklarasjon av produkter fra den mekaniske treindustrien i Norden startet med en forstudie gjennomført i tidsrommet høsten 1992 til våren 1993, finansiert gjennom det nordiske FoU-programmet Nordic Wood⁷. Forstudien ble gjennomført av Teknologisk Institut avd. Træteknik, Norsk Treteknisk Institutt (NTI), VTT Trälaboratoriet og Träteck. Forstudien resulterte i flere rapporter, og ga en god oversikt over området "tre og miljø". (NTI, 1997)

"Miljødeklarasjon av treindustriens produkter" ble avsluttet i 1997, og var en oppfølging av den nevnte forstudien. Dette prosjektet var også finansiert gjennom Nordic Wood, og en rekke bedrifter fra den mekaniske treindustrien deltok i prosjektet. I tillegg bidro de samme fire instituttene⁸. (NTI, 1997)

Andre innsatser har vært "Miljødeklarasjon av trehus" (støttet av Norges forskningsråd), "Miljöredovisning av trähustilverkare och trähus miljöprestanda" (støttet gjennom Nordic Wood 2) og "Life-Sys Wood"⁹.

GRIP senter og Norges byggforskningsinstitutt (NBI) har i samarbeid utviklet anvisning for miljødeklarasjon av byggevarer. Til grunn for anvisningen ligger forslag til internasjonale standarder innen ISO 14000-serien. (GRIP, 1999)

Livsløpsvurdering (LCA) er en metodikk for vurdering av produkters miljøaspekter i et livsløpsperspektiv, eller retttere sagt produktsystemers

⁷ Program finansiert av Nordisk Industrifond, de nasjonale FoU-organene og treindustrien.

⁸ Teknologisk Institut avd. Træteknik, VTT, NTI og Träteck.

⁹ "Life-Sys Wood: Consistent Life Cycle Analysis of Wood Products" var et europeisk prosjekt med oppstart i januar 1996 og en varighet på 42 måneder der bl.a. NTI, Träteck og VTT deltok.

potensielle miljøvirkning. Metodikken går i korte trekk ut på å modellere ett produktsystem og tallfeste inngangsfaktorer og utgangsfaktorer for dette systemet. Produktsystemet for et konstruksjonssystem omfatter råvareuttak, fremstilling, byggeplass, bruksfase, riving og avskaffelse, samt transport.

Ressursforbruk og utslipp tallfestes for hver aktivitet eller enhetsprosess. Ved å summere disse verdiene for hele produktsystemet og normalisere dette til den funksjonelle enheten (f.eks. per m² etasjeskiller med bestemte tekniske egenskaper), får man et livsløpsregnskap.

Ulike metoder eksisterer for vurdering og tolkning av livsløpsregnskap. Dette er indekser (karakterisering eller vektning) som f.eks. beregner potensiell miljøvirkning i form av bidrag til drivhuseffekt, forsuring, dannelse av marknære ozon, ozonnedbryting, overgjødning og øko- eller humantoksisitet.

Man kan etablere produktsystemer for alternative løsninger. Dersom funksjonell enhet, omfang og avgrensning er de samme, kan man forsøke å sammenligne de ulike alternativene og velge det beste.

Livsløpsvurdering av byggverk og produkter til byggverk kan gjøres på ulike nivå, og en mulig inndeling av systemnivåer skisseres av Lundblad et al (1996):

Byggematerialer.

Komponenter.

Bygningsdeler.

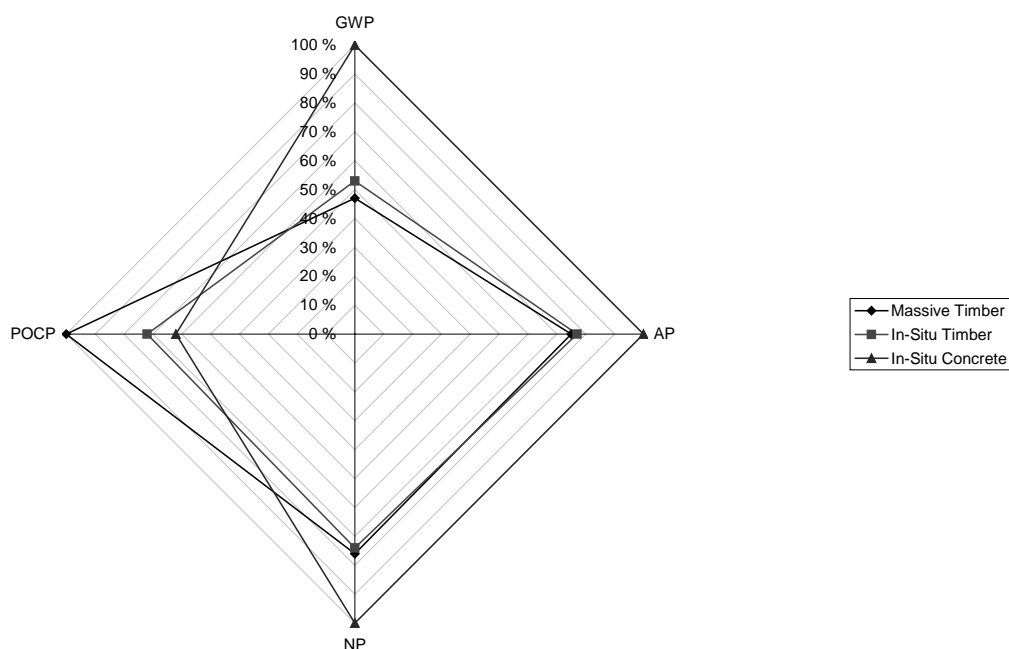
Byggverket og dets installasjoner.

For å belyse energi- og miljøeffektivitet ved massivtrebygging, er det gjennomført en litteraturstudie (side 25) og en eksempelstudie basert på metodikk for livsløpsvurdering (side 27). Disse studiene inngår som underlag ved en diskusjon av energi- og miljøeffektivitet (side 44).

5.2. Litteraturstudie

En rekke referanser som tar for seg ulike miljøaspekter ved massivtrebygging er funnet. De aspektene det fokuseres på, er fornybarhet (erstatte produkter basert på ikke-fornybare råvarer), bedre utnyttelse av råvarer (utnytte f.eks. lavkvalitetsvirke og sidebord), lav vekt (energieffektiv transport og håndtering), og færre sjikt og materialer (økte muligheter for gjenbruk og gjenvinning) samt at man kan bygge ved grunnforhold der en tung konstruksjon ville kreve omfattende fundamenteringsarbeid. To mer omfattende studier er funnet. Dette er tilfellestudier basert på metodikk for livsløpsvurdering (LCA), og omfatter henholdsvis vugge til port (Erlandsson, 1997) og vugge til grav (Dinkel, 1995).

Erlandsson (1997) har på oppdrag fra Trätec i Skellefteå gjennomført en tilfellestudie for å vurdere alternative bæresystem til prosjektet Vetenskapsstaden i Stockholm. Alternativene som er vurdert er massivtreelementer, plassbygd bindingsverk og plaststøpt betong. Studien omfatter vugge til byggeplass. De potensielle miljøeffektene er dannelse av marknære ozon (POCP), overgjødning (NP), forsuring (AP) og bidrag til drivhuseffekt (GWP). Resultatet er vist i figur 5.1.



Figur 5.1. Potensielle miljøeffekter (Erlandsson, 1997).
Potential environmental effects.

Erlandsson konkluderer med følgende:

De trebaserte alternativene kommer bedre ut enn det betongbaserte innen tre av fire miljøeffekter. Imidlertid er forskjellen mellom de to trebaserte ikke signifikant, og det anbefales å gjennomføre en fullstendig livsløpsvurdering der også flere miljøeffekter vurderes dersom man ønsker å foreta et best mulig valg mellom disse.

Det potensielle bidraget til dannelse av marknære ozon (POCP) er høyest for massivtre. Forklaringen på dette er at treindustriens fyringsanlegg relativt sett er dårlige.

Forbedringspotensialet for de trebaserte alternativene ligger i bedre forbrenning og energieffektiv tørking.

Dinkel (1995) har gjennomført en studie av det massivtrebaserte konstruksjonssystemet optiholz[®]. I den foreliggende studien ble et system med optiholz[®] som lastbærende element sammenlignet med et alternativt konstruksjonssystem. Dette ble gjort for henholdsvis yttervegg, etasjeskiller og skrått tak. For å sikre sammenlignbarhet ble kun systemer som kunne påvise like egenskaper mht. isolasjonsevne, levetid etc. inkludert.

To metoder ble brukt for å vurdere konstruksjonssystemene (Heijungs, 1992; BUWAL, 1990; Braunschweig, 1993). Ved hjelp av disse to metodene ble resultatene fremstilt og diskutert i form av Økoprofiler. Dessuten ble det gjennomført en kvalitativ vurdering av ressursforbruk, risiko, økotoksisitet, arbeidshygiene og avskaffelse.

Dinkel konkluderer med følgende:

Begge vurderingsmetodene ga sammenlignbare resultater.

For vegger og tak viste det seg at optiholz-systemet medfører vesentlig lavere miljøbelastning enn de sammenlignbare systemene.

For taksystemene er ikke resultatene så entydige. Likevel viser også her optiholz-systemet ved forskjellige utførelser lavere miljøbelastning.

5.3. Eksempelstudie

5.3.1 Hensikt og omfang

Hensikten med denne studien er å bidra til kunnskap om miljøaspekter ved massivtrebygging, og vil inngå som underlag for en generell drøfting av energi- og miljøeffektivitet. Målgruppen er alle som ønsker å vite mer om miljøaspekter ved massivtrebygging. Valgt funksjon for produktsystemet¹⁰ som studeres, er å forsyne et byggverk med en ikke-leilighetsskillende etasjeskiller for en periode på 60 år (basert på spesifikasjoner i kapittel 4.2).

Funksjonell enhet¹¹:

Forsyne et byggverk med 1 m² ikke-leilighetsskillende etasjeskiller i 60 år.

Produktsystemet omfatter bl.a. skogbruk, sagbruk, elementproduksjon, bygging, riving og avfallshåndtering. Systemgrensen¹² trekkes slik at produktsystemet ikke omfatter produksjon og vedlikehold av infrastruktur, bygninger eller maskiner, uhell og tilfeldige utslipp, prosesser knyttet direkte til ansatte (f.eks. arbeidsreiser), arbeidsmiljø, innemiljø og lukt, lyd, rystelser etc.

Systemet omfatter heller ikke overflatebehandling, rengjøring eller andre prosesser knyttet til ferdigstilling, drift eller vedlikehold, da disse prosessene i stor grad vil være identiske for sammenlignbare produktsystem. Det å utelate disse forenkler studien, samtidig som nytteverdien blir den samme.

Fortegnelse av inngangs- og utgangsfaktorer gjøres slik at disse så langt som mulig representerer en elementær strøm¹³ fra eller til miljøet. Figur 5.2 viser valgt produktsystem. Livsløpsregnskap¹⁴ (LCI) for dette produktsystemet er kvantifisert og sammenstilt i de to neste kapitlene.

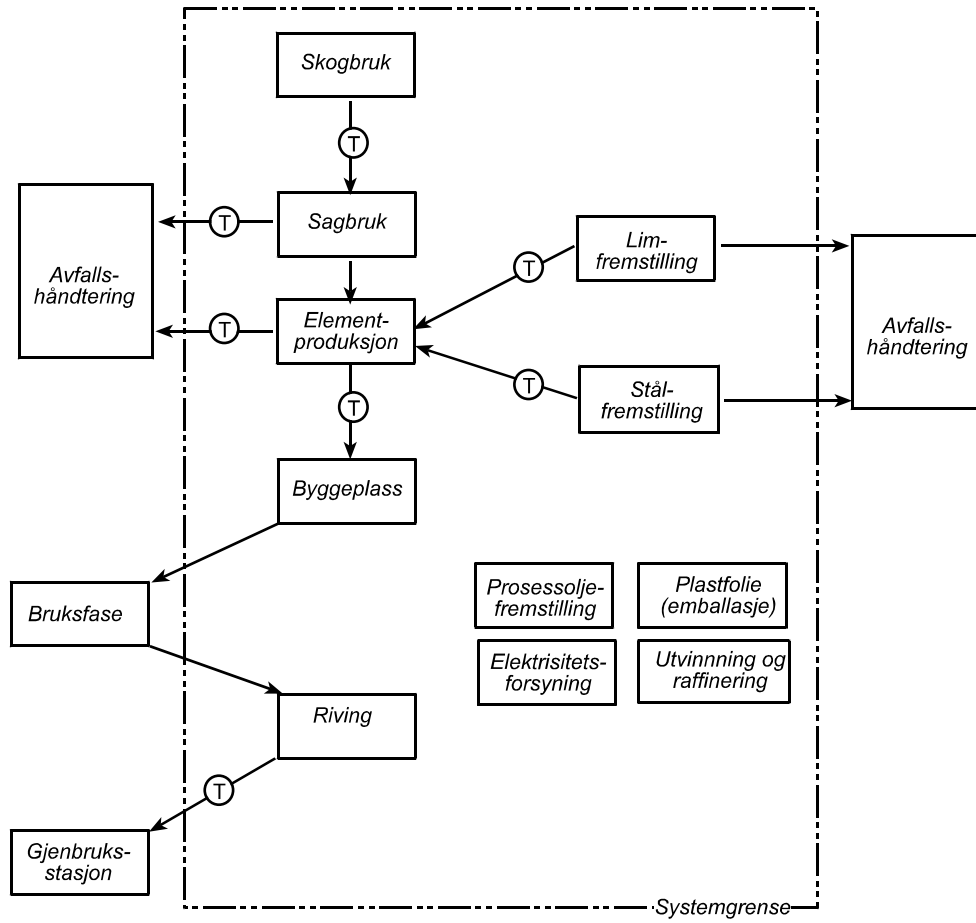
¹⁰ Samling av enhetsprosesser som er forbundet materielt og energimessig, og som utfører en eller flere bestemte funksjoner. (NS-EN ISO 14040:1998)

¹¹ Kvantifisert prestasjon for et produktsystem til bruk som en referansenhet i en livsløpsvurdering. (NS-EN ISO 14040:1998)

¹² Grenseflate mellom et produktsystem og miljøet eller andre produktsystemer.

¹³ Materiale eller energi som går inn i eller forlater systemet som undersøkes, og som henholdsvis tas fra miljøet uten forutgående behandling av mennesker eller blir kassert i omgivelsene uten påfølgende behandling av mennesker. (NS-EN ISO 14040:1998)

¹⁴ Fase i livsløpsvurdering som omfatter sammenstillingen og kvantifiseringen av inngangs- og utgangsfaktorer for et bestemt produktsystem gjennom dets livsløp. (NS-EN ISO 14040:1998)



Figur 5.2. Valgt produktsystem.
Chosen product system.

5.3.2 Kvantifisering av livsløpsregnskap

Skogbruk

Prosessbeskrivelse

Skogbruk berører en rekke økologiske og miljømessige forhold og interesser, og stikkord er biologisk mangfold, drivhuseffekt, direkte forurensing, tiltak som gir avrenning til vassdrag, utarming av skogbunnen, arealanvendelse og påvirkning av natur- og kulturlandskap.

"Levende Skog" ble avsluttet i 1998, og var et prosjekt for et bærekraftig skogbruk i Norge. Målet var "å bidra til norsk og internasjonal tillit til at skogindustrien i Norge har basis i et bærekraftig og miljøvennlig skogbruk med evne og vilje til langsiktig ressursforvaltning" (Levende Skog, 1998). Gjennom dette prosjektet er vesentlige miljøaspekter ved skogbruk utredet og dokumentert¹⁵. I tillegg er kriterier og indikatorer for bærekraft utarbeidet.

Kriterier for et bærekraftig norsk skogbruk (Levende Skog, 1998):

Bevaring og utvikling av skogressursene og deres bidrag til den globale karbonbalansen.

Bevaring av skogøkosystemets sunnhet og vitalitet.

Bevaring og utvikling av skogens produktivitet (tømmer og andre produkter).

Bevaring, vern og utvikling av det biologiske mangfoldet i skogøkosystemene.

Bevaring og utvikling av skogens beskyttende funksjoner.

Bevaring av skogens andre økonomiske og sosiale funksjoner og forhold.

Foryngelse av skog kan gjøres enten ved planting eller naturlig foryngelse. Naturlig foryngelse går ut på å sette igjen et antall sterke, levedyktige mortrær for naturlig spredning av frø. For å sikre et tilstrekkelig tilslag, er ofte naturlig foryngelse forbundet med en form for markberedning. Anslagsvis 54 % av våre produktive skoger forynges naturlig i dag. Resten (46 %) forynges kunstig ved planting. (Det Norske Skogselskap, 1996)

Tidligere var sprøyting utbredt for å hindre oppslag av ugress og løvdominans i ungdomsfasen. I den senere tid er det imidlertid blitt stadig vanligere å drive motormanuell ryddehogst og avstandsregulering, for å ta vare på de sterkeste plantene og drive en mer selektiv skjøtsel. I dag anvendes ugressmidler som glyfosat bare unntaksvis, og man tilstreber en miljøvennlig skjøtsel. "Dagens sprøyteaktivitet innebærer at omtrent 0,4 promille av produktivt skogareal

¹⁵ De såkalte standardutredningene er gjengitt i rapport nr. 9 (delrapport a til d) fra prosjektet.

sprøytes hvert år. Et slikt sprøyteareal innebærer at det i løpet av et omløp vil bli sprøytet på omlag 2,5 mill. dekar. Dette tilsvarer ca. 3,5 % av det produktive skogarealet i Norge." (Levende Skog, 1998d)

"I løpet av perioden 1966-1996 ble snaut 1,4 mill. dekar gjødslet. Dette tilsvarer 2 % av dagens produktive skogareal. I mange tilfeller har samme areal blitt gjødslet flere ganger, slik at totalarealet som er tilført gjødsel (en eller flere ganger) er mindre." (Levende Skog, 1998b)

Snauhogst representerer i dag ca. 65 % av all avvirkning på arealbasis. På resten av arealet drives skjermtrestilling og/eller selektiv hogst. Skjermtrestilling går ut på å la en større eller mindre del av skogen stå urørt. Hensikten med slik hogst kan være å bevare et gunstig mikroklima, samt å forebygge vindfelling. Et viktig aspekt er også at ut fra et miljøsynspunkt er slik hogst mer iøynefallende. Ved å la de sterkeste trærne stå igjen som frøtrær, sikres også den naturlige foryngelsen der forholdene ellers ligger til rette for dette. I de nordiske landene er det gjerne lys og temperatur som er de kritiske faktorene for regenerering og etablering av nye skoger. Dette er årsaken til at snauhogst i en del tilfeller kan være nyttig. (Det Norske Skogselskap, 1996)

Ved høsting tilstreber man å etterlate så mye som mulig av næringsstoffene i det naturlige kretsløpet. Derfor foretas også kvisting i skogen. Barking ved hogst har man av praktiske grunner gått bort fra. Barken motvirker bl.a. uttørring, oppsprekking og insektangrep. Barken kan imidlertid forårsake misfarging. Tømmer med bark utgjør omtrent 65 % av biomassens tørrstoffinnhold, mens grener, barmasse, rot, og topp utgjør de resterende 35 %. (Blingsmo, 1990)

"Utslipp i skogbruket er knyttet til olje og oljeprodukter. (...) I forhold til utslipp i naturen er det interessant i hvilken grad de ulike oljene brytes ned av mikroorganismer ved spredning og utslipp i naturen, og hvilken giftvirkning de har. Hvor ofte en olje må skiftes ut, er også av interesse med tanke på spesialavfall." (Levende Skog, 1998a)

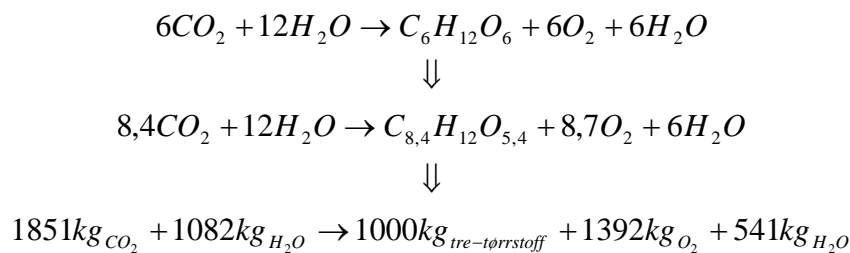
"En svært stor del av skogbrukets bruk av fossilt brensel er knyttet til terrengetransport av tømmer. Driftsveilegden vil her være utslagsgivende. Energibruken ved terrengetransport med traktor er om lag 50 ganger høyere enn når transportarbeidet utføres med lastebil på vei. Et tettere veinett ville dermed redusert energibruken." (Levende Skog, 1998d)

Avfallsfraksjoner fra skogbruk kan være gjenglemt emballasje, tomme kanner, oljesøl, plantebrett, utslitte motordeler, rustne kabler, sagkjeder, sverd, filtre m.v. Det finnes ingen undersøkelse som statistisk dokumenterer denne type søppel, men økt miljøbevissthet blant entreprenører og skogeiere er med på å holde det på et akseptabelt nivå. Majoriteten av entreprenørselskaper og skogeierforeninger har utarbeidet et regulativ for håndtering av slikt avfall.

Kvantifisering av inngangs- og utgangsfaktorer

Skogen er et komplisert økosystem, og en fullstendig fortegnelse av alle stoff- og energistrømmer knyttet til dannelse av biomasse er ikke mulig. I fotosyntesen blir solenergi omgjort til kjemisk bundet energi og karbondioksid og vann til tørrstoff. Den totale energi som medgår kan ikke kvantifiseres, og det er derfor vanlig å ta utgangspunkt i nedre brennverdi. (Zimmer et al, 1996)

Kvantifisering av stoff- og energistrømmer knyttet til dannelse av biomasse er gjort med utgangspunkt i Zimmer et al (1996). Energistrøm er kvantifisert med utgangspunkt i nedre brennverdi (LHV), som for furu og gran er anslått til 19,271 MJ/kg_{tørrstoff} og regnskapsføres som solenergi. En teoretisk tilnærming er brukt til kvantifisering av stoffstrømmer (figur 5.3). Denne gjenspeiler at karbon, oksygen og vann utgjør gjennomsnittlig 99 % av tørr masse.



Figur 5.3. Teoretisk tilnærming til stoffstrømkvantifisering.

Theoretical approach to quantification of material flows.

Bjerketvedt et al (1998) har beregnet totalforbruket av diesel, bensin og kjedeolje ved en årlig avvirkning av 9,3 millioner m³. Dette gir et gjennomsnittlig forbruk av diesel, bensin og kjedeolje på henholdsvis 1,9 l, 0,15 l og 0,08 l per kubikkmeter tømmer med bark.

Gjennomgangen viser at en svært liten del av det produktive skogarealet gjødsles eller sprøytes. Disse prosessene er derfor utelatt.

Kvantifisering av avfall, samt forbruk av motor-, smøre- og hydraulikkolje har ikke vært mulig, det samme gjelder plantekultur, kunstig planting og mekanisk avstandsregulering av foryngelser.

Sagbruk

Prosessbeskrivelse

Ved ankomst til sagbruket sorteres tømmeret etter diameter og kvalitet. Tømmeret lagres nå nærmest utelukkende på land, og i den varme årstiden overrisles tømmeret gjerne med vann. Siden barks tømmeret og rotenden reduseres. I saghuset sages stokkene til planker og bord som deretter transporteres til tørking, strølegges og tørkes til ønsket trefuktighet. Etter tørking foretas avstrøing, justering, sortering, emballering og transport til ferdigvarelager. I en del tilfeller videreføres trevirket f.eks. gjennom høvling.

Tømmer er den dominerende råvaren. Andre råvarer er fyringsolje, diesel, smøre- og hydraulikkolje, stempelfarge, emballasje (plastfolie og stålbånd). I prosessen tilføres energi, først og fremst i form av biobrensel fra bark og spon, men i tillegg kommer elektrisitet til vifter i trelasttørker, maskiner og transportører m.m.

I et sagbruk utnyttes det meste av tømmerstokken. Omtrent halvparten blir trelast, mens den andre halvparten gir biprodukter som bark, flis og spon. Disse produktene selges til masse- og papirindustri og produsenter av trebaserte plater eller utnyttes internt som biobrensel.

Utslipp til luft skjer i form av røykgasser, samt flyktige organiske forbindelser fra trelasttørker. Utslipp til vann og mark skyldes avrenning (bl.a. fra tømmervanning) og deponering (bl.a. emballasje, spillbark og aske).

Spillbark kan selges f.eks. som brensel eller fyllmasse, og blir dermed et produkt istedenfor avfall. Dersom dette ikke er mulig, går den til deponi. Aske fra fyringsanlegg deponeres i stor grad i dag. Imidlertid har forskning vist at asken kan tilbakeføres til skogen for å tilbakeføre næringsstoffer, og på den måten slutte kretsløpet. (Träinformation, 1995)

Restprodukter kildesorteres gjerne i henholdsvis brennbare og ikke brennbare fraksjoner og leveres til avfallsanlegg. Spillolje leveres som spesialavfall.

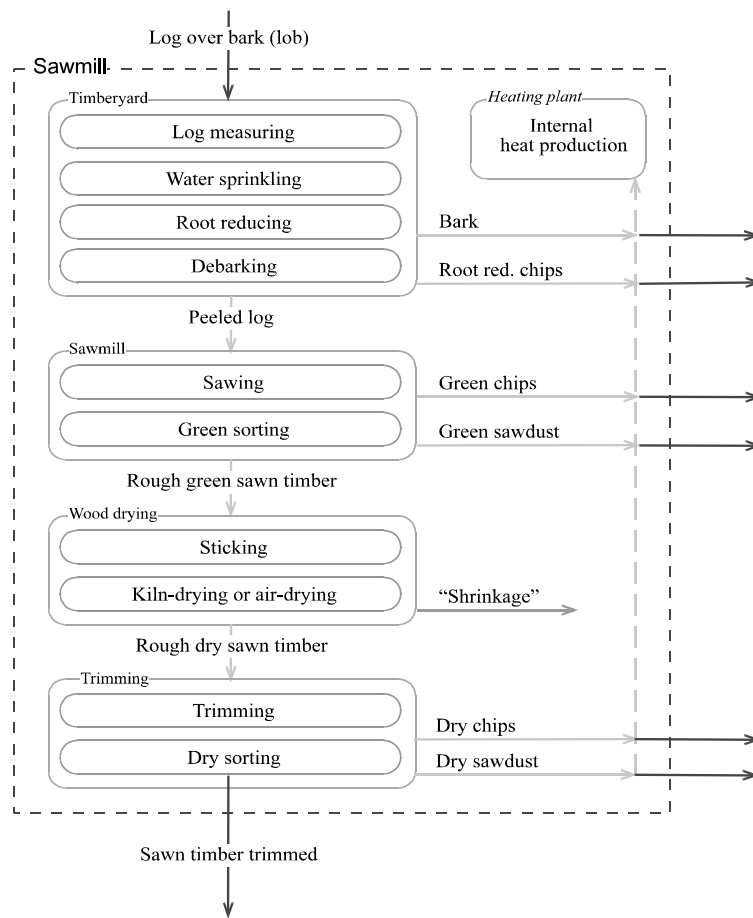
Kvantifisering av inngangs- og utgangsfaktorer

Råvarer, energi og avfall er kvantifisert med utgangspunkt i NTI (1997). To av sagbrukene er utelatt, da produksjonen er lite representativ for norske sagbruk, og et gjennomsnitt for de resterende seks sagbrukene er beregnet. Supplerende opplysninger om energiforbruk er hentet fra STU (1995). Utslipp fra tømmervanning er basert på Myhra et al (1998), og fra forbrenning av biomasse og fossile brensler på henholdsvis Erlandsson (1996b) og Tillman et al (1991).

Kvantifisering av forbruksmateriell er begrenset til prosessoljer og emballasje (stålbånd og plastfolie). Utslipp av flyktige organiske forbindelser (VOC) fra trelasttørker beskrevet bl.a. av Nussbaum et al (1997) er ikke kvantifisert.

Et delproduktsystem for sagbruk er vist i figur 5.4. Allokering mellom funksjonell strøm og biprodukter er gjort for hver delprosess med utgangspunkt i økonomisk

verdi (teoretiske verdier er beregnet for mellomliggende strømmer). Forbruk av emballasje er ikke allokert.



Figur 5.4. Delproduktsystem, sagbruk.
Part of product system, sawmill.

Elementproduksjon

Prosessbeskrivelse

Det foregår i Norge ingen kommersiell fremstilling av elementer, og gjennomgangen er derfor basert på opplysninger fra en svensk produsent¹⁶ og en norsk produsent som per i dag er i ferd med å levere sine første elementer til en massivtrekonstruksjon¹⁷.

Plank eller bord til forspente massivtreelementer vil trolig kjøpes klare for fingerskjøting. Emnene skjøtes sammen i lengderetning ved hjelp av fingerskjøter og kappes i ønskede lamellengder. Deretter høvles lamellene til ønsket tykkelse, plasseres i rigg, hull bores og lamellene spennes sammen ved hjelp av strekkstag. Etter at strekkstagene er på plass, kan endene justeres og overflaten om ønskelig slipes. Til slutt emballeres elementene for å hindre oppfukning, smuss og skader. Elementproduksjon er også beskrevet i eget kapittel om forspente elementer.

Trelast vil være den dominerende råvaren, der det meste vil inngå i ferdige elementer og resten gi biprodukter som flis og spon. Andre råvarer vil være stål, lim, fyringsolje, diesel, smøre- og hydraulikkolje og emballasje (papir, plastfolie og stålbånd). I prosessen vil det tilføres energi fra forbrenning av biprodukter og elektrisitet til maskiner og transportører.

Utslipp til luft vil skje i form av røykgasser og emisjon av bl.a. formaldehyd fra liming av fingerskjøter. Limholdig vaskevann vil delvis slippes ut i offentlig kloakksystem og delvis brennes, mens limavfall i form av herdet lim leveres til avfallsanlegg og deponeres.

Restprodukter vil trolig kildesorteres i brennbare og ikke brennbare fraksjoner og leveres til avfallsanlegg. Dessuten vil spillolje leveres som spesialavfall.

Kvantifisering av inngangs- og utgangsfaktorer

Det antas at volumbalanser for trevirke og energiforbruk i stor grad tilsvare limtreproduksjon. Forbruk av stål til strekkstag og trykkfordelingsplater, samt forbruk av lim til fingerskjøting er beregnet. Andre råvarer, samt energi og avfall er kvantifisert med utgangspunkt i NTI (1997). Utslipp fra forbrenning av biomasse og fossile brensler er basert på henholdsvis Erlandsson (1996b) og Tillman et al (1991).

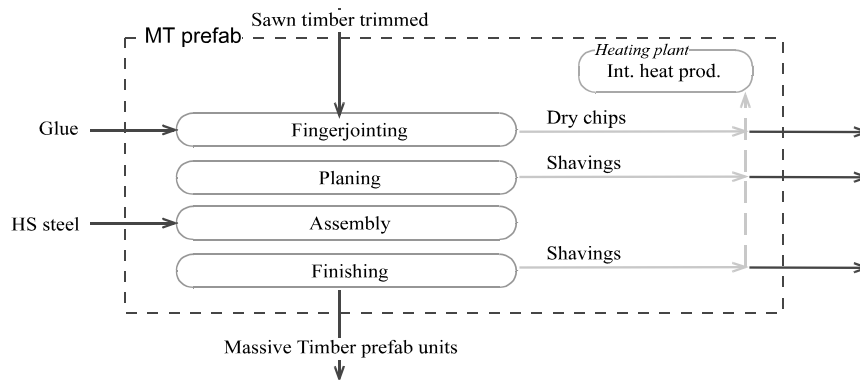
Kvantifisering av forbruksmateriell er begrenset til prosessoljer og emballasje (stålbånd, plastfolie og papir). Emisjon til luft fra liming er ikke kvantifisert.

Et delproduktsystem for elementproduksjon er vist i figur 5.5. Allokering mellom funksjonell strøm og biprodukter er gjort for hver delprosess med utgangspunkt i

¹⁶ Personlig kommunikasjon med Nils-Olof Berglund hos MTAB i Skellefteå, november 1999.

¹⁷ Personlig kommunikasjon med Norvald Bjørke hos Mocon AS, desember 1999.

økonomisk verdi (teoretiske verdier er beregnet for mellomliggende strømmer).
Forbruk av stål, lim og emballasje er ikke allokert.



Figur 5.5. Delproduktsystem, elementproduksjon.
Pre-fab unit manufacturing.

Byggeplass

Den relativt lave egenvekten hos massivtreelementer gjør håndtering på byggeplass lite energiintensiv, og reduserer behovet for store kraner. Dersom man antar at det tar 5 timer å montere et 120 m² bjelkelag og kranens dieselforbruk er 20 l/time, gir dette et energiforbruk på byggeplass på under 30 MJ/m² (Byggindustrin 1/98; ATHENA, 1996). Utslipp fra forbrenning baseres på Tillman et al (1991).

Bruksfase

Hvilke konsekvenser valg av massivtre har for forbruk av råvarer (vedlikehold, utskifting, rengjøringsmidler etc.), energi (oppvarming og kjøling) og utslipp istedenfor andre konstruksjonssystemer, kan ikke vurderes uten i en konkret sammenheng. En slik sammenheng vil omfatte hele konstruksjonen inkludert isolasjon, tetting, tekking, kledning og FDVU. Dette er derfor ikke forsøkt kvantifisert.

Riving

Den relativt lave egenvekten hos massivtreelementer gjør at også riving blir lite energiintensivt, og også her reduseres behovet for store kraner. Man kan trolig anta omtrent samme dieselforbruk som for byggeplass (30 MJ/m²). Utslipp fra forbrenning baseres på Tillman et al (1991).

Avfallshåndtering

GRIP (1999) har vedtatt et allokeringssystem som skal brukes for å fordele miljøbelastningen mellom ulike livsløp eller produktsystemer. Ved resirkulering (omfatter trolig ombruk og materialgjenvinning, men ikke energigjenvinning) belastes neste produkt med råvarer, energi og utslipp forbundet med tilpassing og videretransport. Det antas at hele elementer eller de enkelte lameller brukes om igjen, og derfor inkluderes kun transport.

Transport

I følge Gulli et al (1996) utføres transport av tømmer i Norge med lastebil (98 %) og tog (2 %), og gjennomsnittlig avstand er henholdsvis 48 km og 164 km. Imidlertid brukes gjennomsnittlig transportavstand inn til Forestia AS Sokna i beregningen. Det vil si anslagsvis 90 km med lastebil¹⁸.

Transport fra sagbruk til elementproduksjon er ikke inkludert. Bakgrunnen for dette er at elementene med fordel kan produseres i tilknytning til et sagbruk.

Som et grunnlag for beregning av annen transport er det antatt at elementene produseres i Moelv. Lim og ståldetaljer antas transportert henholdsvis fra Lillestrøm (138 km med lastebil) og fra uspesifisert sted i Tyskland (1300 km med lastebil og 100 km med båt). Ferdige elementer antas brukt i Oslo (155 km). Etter riving antas det at elementene transporteres tilbake til Moelv (155 km), mens det for transport av produksjonsavfall antas en generell transportavstand på 50 km (GRIP, 1999).

¹⁸ Personlig kommunikasjon med tømmerseier Carlos Einar Myrebøe, 1999-12-06.

Miljødata gitt per tonnkilometer fra NTM¹⁹ er brukt for alle rene transportprosesser. Data for middels tung lastebil i regional trafikk (fyllingsgrad 50 % og motortype Euro 2) er brukt for alle prosesser, bortsett fra for transport av ståldetaljer fra Tyskland. For denne transporten er det brukt data for lastebil i langtransport og medium båt i kystfart.

Andre opplysninger

- Miljødata for elektrisitetsforsyning er hentet fra Frees (1996). Data for norsk elektrisitetsforsyning er brukt for alle aktuelle prosesser bortsett fra stålfremstilling, der data for tysk elektrisitetsforsyning er brukt.
- Miljødata for fremstilling av fyringsolje (BUWAL, 1990) er brukt som en tilnærming. Bakgrunnen for dette er at andre miljødata ikke er funnet.
- For fremstilling av fossile brensler, er miljødata for utvinning og raffinering (såkalt "precombustion"²⁰) fra BUWAL (1990) brukt.
- Miljødata ("vugge til port") for lim fra Hagen (1998).
- Miljødata ("vugge til port") for stål fra ATHENA (1993).
- Miljødata for fremstilling av plastfolie fra Frees (1996). Denne folien er brukt som emballasje. Data for annen emballasje er ikke inkludert.
- Avfallshåndteringsanlegg er ikke inkludert²¹. Imidlertid er transport av avfall fra sagbruk og elementproduksjon inkludert.

¹⁹ Nätverket för Transporter och Miljön (<http://www.ntm.a.se/>).

²⁰ Fremstilling av fossile brensler medfører miljøbelastninger (knyttet til utvinning, transport og raffinering) som inkluderes i tillegg til miljøbelastning ved selve forbrenningen.

²¹ Dvs. at utslipp fra forbrenning eller deponering av avfall ikke er inkludert.

5.3.3 Sammenstilling av livsløpsregnskap

Modell av valgt produktsystem er vist i figur 5.6, der også en del mellomliggende strømmer av materialer og energi er oppgitt. Beregningene er gjennomført med EDB-verktøyet EcoLab²². Sammenstilt livsløpsregnskap er vist i vedlegg 1. Emisjoner og ressurser er elementære strømmer fra eller til naturen, mens råvarer og avfall er strømmer til teknosfæren (dvs. at miljødata for disse ikke er inkludert i modellen).

Figur 5.6. Elektronisk modell av valgt produktsystem.
Electronic model of selected product system.

²² Levert av Nordic Port AB (Gøteborg).

5.4. Diskusjon

5.4.1 Fornybarhet

Fornybarhet kontra ikke-fornybarhet

Samfunnets håndtering av ressurser har lenge vært preget av linearitet fra råvareuttak til deponi. For å nærme seg en bærekraftig utvikling, er det imidlertid behov for en mer syklisk håndtering, der alle ressurser på sikt inngår i kretsløp. Kretsløp kan deles inn i naturlige kretsløp som drives av solenergi, og tekniske kretsløp som drives av at mennesker aktivt tilfører energi.

De naturlige kretsløpene er basert på energi fra sola som omvandles i ulike former. Denne energien kan brukes direkte gjennom f.eks. solfangere, vind- eller vannkraft, eller lagres i tre eller andre vekster. Tre inngår i karbonets og oksygenets kretsløp, der karbondioksid ved hjelp av solenergi omvandles til energirike karbonstrukturer. Når trevirket brennes, frigjøres denne energien, og kan utnyttes f.eks. til oppvarming, samtidig frigjøres karbondioksid. Sånn sett er tre en fornybar ressurs som inngår i et evig kretsløp. (Träinformation, 1995)

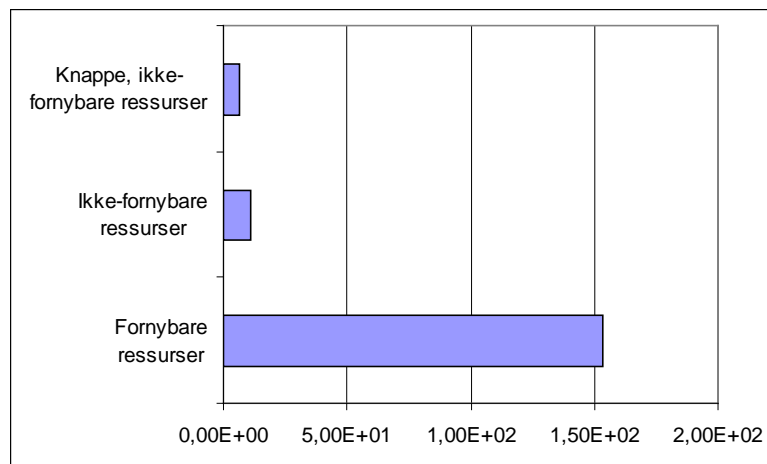
Naturressurser kan prinsipielt deles inn i fornybare og ikke-fornybare ressurser, og begrepet knyttes gjerne til livstiden for noen generasjoner. Til de fornybare ressursene regnes bl.a. tre, korn og bomull, og ressurser som sol, vind og vann i bevegelse. Til de ikke-fornybare ressursene regnes bl.a. olje, kull, mineraler og malm, og mange av disse er knappe ressurser.

De fornybare ressursene kan videre deles inn i lagerressurser som kan utryddes, og energiressurser som stadig fornyes uavhengig av vårt forbruk av dem, der solenergi er et eksempel på en fornybar ressurs som ikke påvirkes av hvor mye vi måtte utnytte av den til enhver tid. Fornybare, utryddbare lagerressurser kan deles inn i biologiske bestander og fysiske lagerressurser. Til det første regnes tre, og til det siste regnes jordsmonn, jordens ozonlag og liknende.

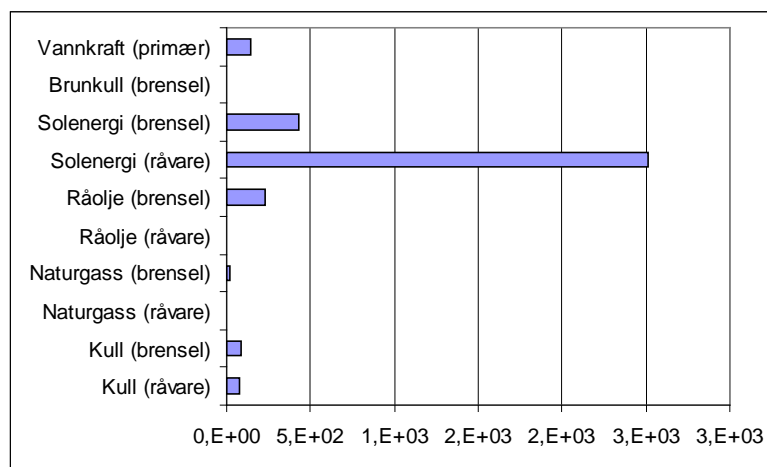
Tre er en fornybar lagerressurs som kan utryddes. I hvilken grad tre kan betraktes som en fornybar ressurs, avhenger av i hvilken grad man sørger for tilstrekkelig foryngelse lokalt. Kriterium 3 for et bærekraftig norsk skogbruk omhandler bevaring og utvikling av skogens produktivitet, der balanse mellom tilvekst og avgang er en av indikatorene (Levende Skog, 1998).

I følge SSB (1999) har tilveksten vært høyere enn avvirkningen helt siden skogtakseringen startet i Norge i 1925. Dette gjør at stående volum av tømmer i norske skoger i dag er over dobbelt så stort som den gang. Utnyttingsgraden lå i 1996 på 48 %, og årlig nettotilvekst er i størrelsesorden 1,8 %. Dette viser at det skal mye til før økt forbruk av tømmer og trelast truer balansen mellom tilvekst og avgang på et nasjonalt plan.

Figur 5.7 og 5.8 viser henholdsvis ressursforbruk²³ og forbruk av energi²⁴ og energiressurser i eksempelstudien, og det er tydelig at forbruket av fornybare ressurser og energi er helt dominerende. Dette indikerer at bruk av denne typen elementer kan bidra til mer kretsløpstilpasset bygging der man ser en overgang fra forbruk av ikke-fornybare til fornybare ressurser.



Figur 5.7. Ressursforbruk i eksempelstudien [kg].
Resource consumption in case study.



Figur 5.8. Forbruk av energi og energiressurser i eksempelstudien [MJ].
Consumption of energy and energy resources in case study.

²³ Inkluderer også energiressurser. Forbruk av tømmer er her regnet som tørrstoff. Hvilke ressurser det er knapphet av, er basert på Heijungs (1992). De knappe, ikke-fornybare ressursene som forbrukes er råolje, naturgass og uran (knyttet til elektrisitetsforsyning i utlandet).

²⁴ "Solenergi (brensel)" er nedre brennverdi for biprodukter utnyttet som internt brensel. "Solenergi (råvare)" er solenergi som ble tatt opp under fotosyntesen (og som etter allokering fortsatt er igjen i produktsystemet) minus "solenergi (brensel)".

Kreditering og debitering av fornybarhet

Generelt

Det er av interesse å se i hvilken grad fornybarhet krediteres eller debiteres i ulike metoder for dokumentasjon og vurdering av miljøaspekter. I det følgende drøftes ulike metoders behandling av fornybarhet.

Økoprofil

Fordi materialer ennå ikke er implementert i Økoprofil for næringsbygg, tas det utgangspunkt i utkast til kriterier for boliger per 1999-09-01. Kategoriene "utvendig kledning" (R-m.2.2.1) og "innvendig kledning" (R-m.2.2.2) går på valg av materialer. Innenfor disse kategoriene ser det ut til at kriteriene foreløpig i stor grad er basert på antagelser om levetider og vedlikeholdsintervaller, og ikke livsløpsvurdering eller fornybarhet.

Det ser altså ut til at Økoprofil per i dag ikke skiller mellom fornybarhet eller ikke-fornybarhet (bortsett fra for oppvarming). Imidlertid krediteres gjenbruk i kategoriene "gjenbrukte materialer" (R-m.2.1.1), "avhending" (R-m.2.1.2) og "gjenbruk av råbygg" (R-m.2.3.1).

Miljødeklarasjon av byggevarer

GRIP (1999) skiller i sin anvisning for miljødeklarasjon av byggevarer mellom bioenergi og annen energi, og mellom ikke-fornybare materialer (henholdsvis rikelige og knappe) og fornybare materialer, samt resirkulerte materialer.

Livsløpsvurdering (LCA)

Kreditering eller debitering av fornybarhet avhenger i en LCA av hvilke metoder man bruker for effektvurdering eller vektning. Aktuelle metoder og eksempler presenteres av Sas et al (1997) og Heijungs et al (1997).

UMIP

Programmet "Metoder og Værktøjer til Udvikling af Miljøvenlige IndustriProdukter" (UMIP) var et samarbeid mellom tre institutter og fem industrivirksomheter i Danmark. I følge metoden som ble utviklet gjennom dette programmet, skal vektingsfaktoren for ressursforbruk avspeile hvor sparsom ressursen er i forhold til forbruket av den. Forholdet kalles forsyningshorisonten, og er et mål for ressursens knapphet. For fornybare ressurser defineres vektingsfaktoren ut fra det samlede forbruk på det stedet prosessen finner sted. Hvis ressursen ikke utnyttes hurtigere enn den gjendannes, betraktes forsyningshorisonten som uendelig og vektingsfaktoren lik 0. Ved tolkning uttrykkes ressursforbruket i forhold til den gjennomsnittlige globale reserve per person i verden. (Wenzel et al, 1996).

5.4.2 Klimagasser

Karbonets kretsløp er knyttet til oksygenets kretsløp, og er trolig det viktigste av jordens store kretsløp, samtidig er det kanskje det av de store kretsløpene mennesker har påvirket mest (Pleym et al, 1994). I løpet av ett år bidrar mennesker med i overkant av 20 000 millioner tonn karbondioksid fra forbrenning av fossile brensler og sementproduksjon.

Økt konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren kan bidra til den såkalte "drivhuseffekten". Teorien er at økt konsentrasjon av klimagasser²⁵ i atmosfæren vil føre til at atmosfæren fanger opp en større andel av varmestrålingen fra jorda, og dermed bidra til en økning i den globale middeltemperaturen. Skog og treprodukter har potensial til å avdempe denne effekten²⁶, samtidig som skogen kan bli svekket på grunn av klimaendringer (LD, 1997).

Globalt overstiger det årlige opptaket av karbondioksid ved fotosyntese i skog utslippet fra ånding med 13 000 millioner tonn karbon eller 48 000 millioner tonn karbondioksid, men dette netto opptaket balanseres omtrent av at det samtidig frigjøres 40 000 mill. tonn karbondioksid fra nedbygging av skog i tropiske områder²⁷. (IPCC, 1995)

En arbeidsgruppe oppnevnt av Landbruksdepartementet har studert skog og treprodukters potensial for å motvirke klimaendringer (LD,1997). Denne gruppen konkluderer med at karbonutvekslingen med atmosfæren kan påvirkes direkte eller indirekte. Direkte påvirkning skjer gjennom binding av karbon, der trær tar opp karbondioksid og lagrer det som karbon. Dette lageret kan utvides enten ved å øke skogbiomassen eller å utnytte avvirket trevirke til produkter med lang levetid, samtidig som en sørger for at ny skog vokser opp. Indirekte påvirkning skjer gjennom reduserte karbondioksidutslipp ved at trevirke erstatter energikrevende produkter eller produkter som frigir karbondioksid ved produksjon, eller ved at bioenergi erstatter fossile brensler.

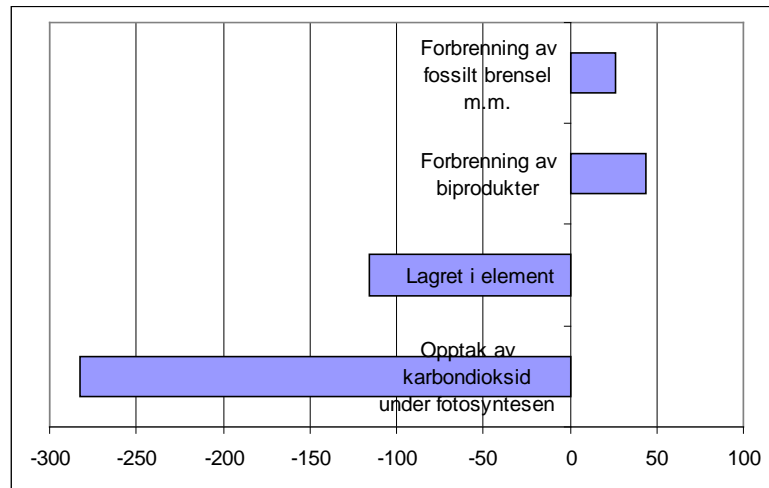
I følge LD (1997) er de direkte og de indirekte effektene ofte supplerende størrelser: "Et trehus vil f.eks. medføre binding av en karbonmengde avhengig av den mengde trevirke som benyttes, samtidig som det oppnås reduksjoner i CO₂-utslippet tilsvarende det som andre, alternative byggematerialer ville gitt. Reduksjonene i CO₂-utslipp som oppnås når trevirke erstatter andre produkter, er større enn den mengden karbon som forblir bundet i treproduktene. Derfor er klimaeffekten av substitusjon viktigere enn lagereffekten i treprodukter i klimasammenheng." (Se også Karjalainen, 1994.)

²⁵ Karbondioksid er den viktigste av drivhusgassene.

²⁶ Kriterium 1 for et bærekraftig skogbruk omhandler bevaring og utvikling av skogressursene og deres bidrag til den globale karbonbalansen.

²⁷ Det er stor usikkerhet knyttet til disse tallene.

Figur 5.9 viser balansen i eksempelstudiens potensielle bidrag til drivhuseffekten²⁸. På grunn av valgt allokeringsprinsipp²⁹ godskrives produksystemet for en stor del av opptaket av karbondioksid under fotosyntesen. Imidlertid vil det i mange tilfeller være mer interessant å se på den mengde som i virkeligheten er lagret³⁰ i elementet.



Figur 5.9. Balanse i potensielt bidrag til drivhuseffekten [kg].
Global warming potential (GWP)

I følge LD (1997) kan menneskelig aktivitet påvirke størrelsen på både direkte og indirekte klimaeffekter i en positiv retning. Blant aktivitet med stor klimaeffekt nevnes bruk av trevirke i stedet for andre produkter som medfører vesentlig høyere karbondioksidutslipp, mest mulig bruk av trevirke i holdbare produkter, høyest mulig utnyttelsesgrad av trevirket, størst mulig gjenbruk av trevirke og utnyttning av energien når produktene er kassable. Flere faktorer tyder på at massivtrebygging er en slik "aktivitet".

Potensielt bidrag til drivhuseffekten har vist seg å kunne være vesentlig lavere enn for andre konstruksjonssystemer (Erlandsson, 1997; Dinkel, 1995). Massivtreelementer kan dermed erstatte produkter som medfører vesentlig høyere karbondioksidutslipp. Samtidig er bygningselementer holdbare produkter med lang levetid, og eksempelstudien viste dessuten en netto lagring i elementet. Ved bruk av sidebord og lavkvalitetsvirke, kan man oppnå høy utnyttelsesgrad, og avhengig bl.a. av sammenføyningsmetoder og overflatebehandling er mulighetene for gjenbruk og energiutnyttning gode.

²⁸ Potensielt bidrag til drivhuseffekten (GWP 100) i hht. Heijungs (1992).

²⁹ Når biprodukter forlater produksystemet, tar de bare med seg den delen av det lagrete karbonet som tilsvarer deres relative økonomiske verdi. Samtidig foretas "cut-off" når elementet forlater produksystemet. Det blir derfor en opphopning av karbondioksid i produksystemet.

³⁰ Beregnet på grunnlag av Zimmer et al (1996) og aktuelt tørrstoffinnhold i element.

5.4.3 Materialer

"Kan vi lage trehus av tre?"

Torjul (1999) spør om dette, og viser til utviklingen fra boliger av jord, stein, tømmer, strå, leire og snø til trebaserte konstruksjoner der andelen trevirke stadig blir mindre, konstruksjonene lettere og tekniske funksjoner eller ytelser implementeres hver for seg. Det vises til at man tilsynelatende har tatt det for gitt at disse funksjonene bør implementeres hver for seg, uten at dette egentlig er nødvendig. For trehus betyr dette at "et lag mineralull skal besørge akseptabel varmegjennomgang, stendere oppta vertikal- og sidekrefter, ett sjikt redusere damptransport og et annet hindre innstrøm av uteluft".

Råstoff og råstoffutnyttelse

Et viktig miljøaspekt ved massivtrebygging er muligheten til å utnytte tømmer og trelast som ellers ikke ville bli utnyttet, eller som ville gått til produkter med langt lavere verdiskaping. I det følgende nevnes noen eksempler som til sammen utgjør et betydelig potensial som råstoff for massivtreelementer.

Man har lenge vært opptatt av å forbedre skurutbyttet for en mer optimal utnyttelse av råstoffet. Imidlertid er gevinstene i en slik tilnærming omdiskutert. På den ene siden etterlates årlig store ressurser i form av hogstavfall, vraktømmer, tynningsvirke og annen biomasse. En del av dette (f.eks. barmasse og løv) er hensiktsmessig å etterlate i skogen, da dette ivaretar skogsystemets kretsløp av næringsstoffer. Tynningsvirke, som har liten verdi i så henseende, kan imidlertid være et potensielt råstoff for massivtreelementer.

I forbindelse med skuroptimalisering, har man sett på sidebordutnyttelsen og fleksibilitet i skurprogrammene med hensyn til disse. Et moment har vært at sidebordene ofte er av meget god trekvalitet, men blir nedklassifisert av mindre visuelle feil som f.eks. fører, blåved og insektskader. Disse skadene har ofte ingen eller minimal betydning for styrken i materialet.

Trevirke som anvendes til konstruksjonsformål, kan ha en begrenset mengde "visuelle feil", mens det er mer restriktivt med hensyn til skader som forringer styrken i materialet (f.eks. tennar, råte og vannkant). Om lag 15 % av sortimentet faller i T0 eller lavere. En undersøkelse av maskinell sortering viser at om lag 3 % av sortimentet gir utlegg (Myhra, 1999).

Sitkagran er et nåletre som opprinnelig kommer fra vestkysten av Nord-Amerika, og som er plantet i stor utstrekning bl.a. på Vestlandet, men som i dag har liten kommersiell betydning. Imidlertid kan et mulig bruksområde være som råstoff for massivtreelementer.

Kravene til trevirke som råstoff vil være forskjellig for de ulike sammenføyingsmetoder og bruksområder som er aktuelle. For eksempel vil synlige overflater i mange tilfeller medføre visse estetiske krav.

Materialeffektivitet

Massivtreelementer har relativt lav egenvekt. Dette kan resultere i større materialeffektivitet ved å muliggjøre at fundamenteringen blir mindre omfattende, og at man kan bruke mindre dimensjoner i bæresystemet. Dessuten vil elementenes overflater i en del tilfeller kunne eksponeres direkte uten overflatebehandling, kledning eller tekking som ellers ville være nødvendig.

Bygningsfleksibilitet

Viktigheten av bygningsfleksibilitet poengteres av GRIP (1998) og i Økoprofil for boliger (kategorien "bygningsfleksibilitet" [R-m.1.1]). Massivtrekonstruksjoner vil ha en rekke gode egenskaper på dette området, f.eks. fleksibilitet mht. eksentriske laster, plassering av skillevegger og tung innredning, samt muligheter for innfresing av ledninger og rør.

Gjenbruk og gjenvinning

Generelt

I hvilken grad treavfall fra bygging og riving kan betraktes som rent eller ikke, avhenger bl.a. av ordninger for kildesortering, materialvalg, rivingsmetoder, og i hvilken grad bygningen er utformet med tanke på gjenbruk og gjenvinning. Avfallet kan inneholde både behandlet og ubehandlet tre. Treavfall fra byggeplasser inneholder bl.a. avkapp fra laminat, limtre, parkett, sponplater og ferdigmalte platematerialer av trevirke, mens treavfall fra riving inneholder malt, beiset, impregnert, råttent og pusset trevirke, tre med spiker og skruer og tre klebet eller festet til isolasjons- og fugemasser etc.

Trevirke i bygninger utsettes for ulike mekaniske og fysiske, biologiske og kjemiske faktorer som over tid påvirker dets egenskaper. Viktige effekter av mekaniske og fysiske påkjenninger er krymping og sprekkdannelse, mens viktige biologiske faktorer, spesielt i fuktig miljø, er skader som følge av angrep fra organismer som sopp, bakterier og insekter.

Vurdering og sortering av rivingsvirke er drøftet bl.a. av Boverket (1998a), Holmqvist et al (1998), NEOS (1995) og Nero et al (1999). Juridiske sider ved gjenbruk av bygningsmaterialer er vurdert av Boverket (1998b).

Gjenvinning

Mulighetene for gjenvinning av treavfall fra riving begrenses først og fremst av dets renhet. Gjenvinning foregår ved å kutte, hakke eller knuse treavfallet, og bruke det til alt fra biobrensel til landbruksformål. Inngangsparametrene for de fleste brenselformål er svært strenge, og tillater ikke tilstedeværelse av farlige stoffer, fremmedlegemer (som metall) eller råttent tre.

Den store hindringen mot materialgjenvinning er at tilstedeværelsen av forurensninger i trevirket gjør at det er fare for giftige forurensninger i

sluttproduktet. Dette er kanskje ikke så farlig dersom det forurensede trevirket blandes med tilstrekkelige mengder rent trevirke (dvs. fortynning).

Ved forbrenning av trevirke vil kjemisk bundet solenergi og karbondioksid som ble tatt opp under fotosyntesen frigjøres, og det eneste som blir igjen er aske, samt metallskrap i form av spiker, beslag og strekkstag. I en livsløpsvurdering der massivtreelementet går til forbrenning med energigjenvinning, kan man velge å belaste massivtreelementet med utslipp fra forbrenning, mens evt. gjenvunnet energi krediteres total energibruk. Effektiv brennverdi er ca. 16 MJ/kg. Ved en slik tilnærming ville man i eksempelstudien kunne kreditere produksystemet med ca. 1000 MJ (korrigeres evt. mht. virkningsgrad).

Gjenbruk

Ved gjenbruk blir trevirket ikke bearbeidet til et annet produkt. Imidlertid vil det kanskje kreve uforholdsmessig mye energi å klargjøre trevirket for gjenbruk, f.eks. for å fjerne biosider eller blybasert maling. Gjenbruk kan skje ved å kappe trevirket og ellers bruke det som det er, eller ved kapping og ny skur.

Boverket (1998a) har i sin anvisning for gjenbruk av konstruksjonstrevirke nevnt gjenbruk i massivtrekonstruksjoner som et aktuelt bruksområde: "Eftersom kraven på det ingående virket i de massiva träkonstruktionerna inte er höga, borde det gå bra att använda begagnat trä. Korta längder kan skarvas, gran och tall kan samsas sida vid sida, hål och sprickor spelar mindre roll. Det er även tänkbart att blanda gammalt virke med nytt i samma konstruktion Det er viktig att fuktkvoten i virket är jämn och låg och ettersom virket ska hyvlas bör det vara fritt från spik."

Ullvén (1998) nevner også massivtrekonstruksjoner som et aktuelt område for gjenbruk av konstruksjonstrevirke. Hun viser til at man i et kretsløpssamfunn må være forsiktig med ressurser, også en fornybar ressurs som tre, og setter spørsmålsteget ved at man fortsatt brenner eller deponerer konstruksjonsvirke med høy kvalitet, som med fordel kunne få samme funksjon i en ny bygning eller gjenbrukes til et annet formål.

Resirkulering av massivtreelementer

Få sjikt og materialer gir enklere kildesortering og økte muligheter for gjenbruk, og rivingsavfall og -produkter vil kunne utnyttes lokalt. Massivtreelementer kan transporteres hele fra byggeplass til deponi (gjenbrukstasjon, ny byggeplass eller til gjenvinningsanlegg/deponi). Limte og dyblede elementer vil enkelt kunne tilpasses nye dimensjoner med enkelt verktøy, mens dette vil være vanskeligere for spikrete elementer. Bordene i forspente elementer vil kunne frigjøres ved å løsne muttere eller kappe strekkstaget. Bruk av lim og overflatebehandling er faktorer som kan være til hinder for resirkulering.

5.4.4 Energi

Transportarbeid

Eksempelstudien viste at transportavstandene for tømmer, trelast, avfall, ferdig produkt og rivingsavfall kan være relativt små. Det samme gjelder lim, men man skal være klar over at flere av råvarene som inngår i limet er transportert rundt 1000 km. Ståldetaljer må i stor grad kjøpes i utlandet. I eksempelstudien ble det antatt en produksjon i Tyskland, noe som ble gjort med utgangspunkt i en konkret leverandør, og transportavstanden var totalt 1400 km. Så selv om lim og stål inngår i små mengder, står de for en stor del av transportarbeidet.

På et generelt grunnlag kan man si at tømmer og trelast i store deler av landet er tilgjengelig fra lokale skogsområder og sagbruk, og at massivtreelementer er egnet for lokal fremstilling ved eller i nærheten av sagbruk. Lokalt råvareuttak og fremstilling kombinert med den lave egenvekten til tømmer, trelast og massivtreelementer vil ha stor betydning for det totale transportarbeidet.

Energifleksibilitet

Viktigheten av energifleksibilitet poengteres bl.a. av GRIP (1998) og i Økoprofil for boliger (kategorien "energifleksibilitet" (R-e.2.1)). Det er en utfordring å tilrettelegge for energifleksibilitet i massivtrekonstruksjoner. Vannbåren varme integrert i konstruksjonen er trolig ingen god løsning med tanke på sprekker og lekkasjer som kan oppstå som følge av dette. Imidlertid vil andre løsninger basert på vannbåren varme kunne brukes.

Termisk treghet

Ved en fornuftig utnyttning av bygningsdelers termiske treghet er det mulig å redusere effekt- og energibehovet. Dette er egenskaper det ikke tas hensyn til ved forenklet beregning av effekt- eller energibehov (jmf. NS 3031). Der forutsettes stasjonære forhold, dvs. at temperaturer og varmestrømmer ikke endrer seg med tiden. Under slike forhold har bygningsdelenes varmekapasitet ingen innvirkning på de termiske forhold. (GRIP, 1998; SINTEF, 1992)

"I en reell situasjon vil varmebalansen for rommets materialflater bestemmes av konvektiv varmeovergang mot romlufta, av langbølget strålingsutveksling med de øvrige romflatene, og av varmeledningen inn i materialet. I tillegg kan vi ha absorpsjon av solstråling. Den dynamiske varmeutvekslingen mellom romlufta og rommets materialoverflater vil altså bestemmes av rommets dimensjoner, materialenes varmelagringssegenskaper, overflatenes emissivitet, av konvektive varmeovergangstall og av temperatur på luft og overflater. (...) Som et praktisk anvendbart mål for den termiske tregheten til et rom eller en bygning, benyttes ofte rommets tidskonstant." (SINTEF, 1992)

I følge Boverket (1998c) kreves det for de fleste materialer en tykkelse på 10 til 20 cm for å oppnå maksimal lagring av varme fra dag til natt. Tre og lettbetong demper amplituden for innetemperaturens svingning i størrelsesorden 4 til 5 ganger mindre effektivt enn betong. I følge SINTEF (1992) er det imidlertid "viktig å være klar over at en varmemotstand på overflaten (f.eks. en platekledning, et

golvbelegg eller lignende) vil redusere den termiske koblingen mellom romlufta og konstruksjonen".

Norén et al (1999) har gjennomført en tilfellestudie av hvilken effekt termisk treghet har på energiforbruket i en svensk bygning. I studien brukes tre beregningsmodeller for å vurdere årlig energiforbruk for en toetasjes bygning med seks leiligheter for tre alternative konstruksjonssystem. Det konkluderes der med at massivtrekonstruksjonen gir lavere energiforbruk enn den lette trekonstruksjonen, men ikke så lavt som betongkonstruksjonen.

I utkast³¹ til Retningslinjer for Europeisk Teknisk Godkjenning (ETAG) til trehussystemer er krav til varmekapasitet inkludert: "Hovedbygningens varmekapasitet skal være kjent der det er relevant å påvise varmekapasitetens effekt på energiforbruket." Bakgrunnen for dette skal være at de portugisiske byggereglene opererer med slike krav.

I følge SINTEF (1992) kan høy varmekapasitet være både positivt og negativt, avhengig av bygninger og lokalers bruksformål og bruksmønster, men at positiv utnyttning av konstruksjonens varmelagringsevne kan skje ved:

Magasinering av overskuddsvarme ved solinnstråling eller topper i interne varmetilskudd. Ved å tillate en viss temperaturstigning i perioder med overskuddsvarme kan varme magasineres i bygningsdelene, og derved redusere oppvarmingsbehovet i andre perioder.

Utjevning av virkningen på innertemperaturen fra store svingninger i utetemperatur og solstråling under sommerforhold.

Mulighetene for å utnytte konstruksjonen til temperaturlpasning burde være gode. Selv om trevirke i seg selv ikke har samme termiske treghet som f.eks. betong, vil mulighetene for å eksponere overflaten direkte ofte være bedre. Det gjør at man i større grad kan unngå overflatebehandling eller overflatematerialer som reduserer den termiske koblingen mellom romluft og konstruksjon. Sammenlignet med en lett trekonstruksjon burde mulighetene være svært mye bedre. I tilfeller der stor termisk treghet ikke er ønskelig, kan denne reduseres ved å kle overflaten.

³¹ Utkast fra EOTA-arbeidsgruppe 02.03/01 "Timber Frame Building Kits", der Trond Ramstad ved Norges byggforskningsinstitutt (Byggforsk) er formann (utkast per november 1999).

5.4.5 Oppsummering

Viktige miljøaspekter er at massivtrebygging kan bidra positivt til å redusere klimaeffekter, at forbruk av fornybare energi- og materialressurser kan være helt dominerende, at mulighetene for å utnytte tømmer og trelast som ellers ikke ville bli utnyttet er gode, og at brukt trevirke kan nyttiggjøres. I Norge har tilveksten vært høyere enn avvirkingen helt siden skogtakseringen startet i 1925. Norsk trevirke er altså en fornybar ressurs som ikke er truet av utrydding.

Massivtreelementer har relativt lav egenvekt. Dette kan resultere i større materialeffektivitet ved å muliggjøre at fundamenteringen blir mindre omfattende, og at man kan bruke mindre dimensjoner i bæresystemet. Dessuten vil elementenes overflater i en del tilfeller kunne eksponeres direkte uten overflatebehandling, kledning eller tekking, som ellers ville være nødvendig.

Massivtrekonstruksjoner vil ha en rekke gode egenskaper mht. bygningsfleksibilitet, f.eks. fleksibilitet mht. eksentriske laster, plassering av skillevegger og tung innredning samt muligheter for innfresing. Det er en utfordring å tilrettelegge for energifleksibilitet i massivtrekonstruksjoner.

Få sjikt og materialer gir enklere kildesortering og økte muligheter for gjenbruk, og rivingsavfall og -produkter vil kunne utnyttes lokalt. Elementer vil ofte kunne tilpasses nye dimensjoner med enkelt verktøy, eller lameller kan frigjøres og brukes på nytt. Bruk av lim og overflatebehandling er faktorer som kan være til hinder for resirkulering. Dessuten kan gjenbruk av konstruksjonstrevirke i massivtrekonstruksjoner være aktuelt.

Tømmer og trelast er i store deler av landet tilgjengelig fra lokale skogsområder og sagbruk, og massivtreelementer er egnet for lokal fremstilling ved eller i nærheten av sagbruk. Lokalt råvareuttak og fremstilling kombinert med den lave egenvekten til tømmer, trelast og massivtreelementer vil ha stor betydning for det totale transportarbeidet.

Mulighetene for å utnytte konstruksjonen til temperaturlpasning burde være gode, bl.a. ved at man i stor grad kan unngå overflatebehandling eller overflate-materialer som reduserer den termiske koblingen mellom romluft og konstruksjon. Sammenlignet med en lett trekonstruksjon burde mulighetene være svært mye bedre. I tilfeller der stor termisk treghet ikke er ønskelig, kan denne reduseres ved å kle overflaten.

6. Konklusjon

Gjennomgang av motivasjon bak massivtrebygging og dets historikk og utvikling, viser at man i land som Sverige, Tyskland og Sveits har mye erfaring med bruk av konstruksjonssystemer basert på massivtre i moderne byggevirkosomhet. Det viser samtidig at muligheten for å etablere og utvikle miljøeffektive og rasjonelle konstruksjonssystemer basert på massivtre for norske forhold burde være gode.

En økonomisk vurdering er gjennomført av etasjeskiller, svalgangselement og balkongelement av massivtre. Disse beregningene viser at massivtreelementer i mange tilfeller vil være et kostnadseffektivt alternativ til andre konstruksjonssystemer.

Det anbefales en videre satsning for å utvikle konstruksjonsdetaljer og metoder for produksjon og montasje gjennom pilotprosjekter og parallell FoU.

Det kan være en "pedagogisk utfordring" å vise at det er greit å bruke mer trevirke enn i dagens lite treintensive konstruksjoner. Imidlertid viser det seg at massivtrebygging kan være et bidrag til mer kretsløpstilpasset bygging, med tanke både på naturlige og tekniske kretsløp.

Litteraturliste

ATHENA, 1996

Demolition energy analysis of office building structural systems. ATHENA™ Sustainable Materials Project.

ATHENA, 1993

Raw Material Balances, Energy Profiles and Environmental Unit Factor Estimates for Virgin Structural Steel Materials. Prepared by Steltech for the ATHENA™ Sustainable Materials Project.

Bjerketvedt, 1998

Avvirkning og uttransport fra skogen. Rapport 3 fra prosjektet "Transport og miljø i skognæringen". Delprosjektleder har vært Jan Bjerketvedt. Transportbrukernes fellesorganisasjon, Skogavdelingen, 1998.

Blingsmo, 1990

Blingsmo, K.R.: Omregning fra produksjonstabeller til biomassetabeller. Skogforsk, 1990

BmH, 1997

Brettstapel als konstruktionselement. Tidsskriftet «Bauen mit Holz», 1/97, s. 20

BmH, 1998

Dächer in Brettstapelbauweise : Was es zu beachten gibt... Tidsskriftet «Bauen mit Holz», 4/98, s. 44 og s. 46

Boverket, 1998

Återvinning av trä. Boverket, Sverige, 1998.

Boverket, 1998b

Juridik för återbruk : Begagnade byggvaror och returmaterial. Boverket, Sverige, 1998.

Boverket, 1998c

Ekologiskt byggande : Föreställningar och fakta. Boverket, Sverige, 1998.

Braunschweig, 1993

Braunschweig, A. et al: Evaluation und Weiterentwicklung von Bewertungsmethoden für Ökobilanzen. Diskussionsbeitrag nr. 19. IWÖ-HSG, St. Gallen, 1993.

BUWAL, 1990

Habersatter, K. et al: Oekobilanz von Packstoffen, stand 1990. Rapport 132:91. Bundesamt für Umwelt und Landschaft (BUWAL), Bern, Sveits, 1991.

Byggindustrin 12/98

Träig mineralpark i Varuträsk. Byggindustrin 12/98 s. 24. Stockholm, 1998.

Cole, 1998

Cole, R.J.: Emerging trends in building environmental assessment methods. Building Research & Information (1998) 26(1), 3-16. E&FN Spon, 1998.

Det Norske Skogselskap, 1996

The Forest in Norway. Brosjyre. Det Norske Skogselskap, Oslo, 1996.

Dinkel, 1995

Ökologische Beurteilung von Brettstapel Bausystemen. Oppdragsrapport for Optiholz AG. Carbotech AG, Basel, Sveits, 1995.

Enger, 1998

Enger, Anniken: Miljøargumentasjon i markedsføring. En innholdsanalyse av tre reklamekanaler. Rapport 1/98. Statens institutt for forbruksforskning, 1998

Erlandsson, 1996a

Methodology for environmental assessment of wood-based products. Träteck, Stockholm, 1996.

Erlandsson, 1996b

Miljödeklaration av trähus : Bakgrundsdata. L-rapport 9606056. Träteck, 1996.

Erlandsson, 1997

Erlandsson, Martin: Översiktlig LCA för tre stommealternativ för byggnader i Vetenskapsstaden (sluttrapport). Ragn-Sells Miljökonsult AB, 1997

Frees, 1996

Frees, Niels: UMIP enhedsprocedurdatabase. Miljøstyrelsen og Dansk Industri, 1996.

Gilde, 1999

Magnar Gilde: Personlig kommunikasjon. Ole Stjern AS, august 1999

GRIP, 1998

Miljøriktig byggprosjektering : veileder. Trykt: Oslo : GRIP senter, 1998.

GRIP, 1999

Miljødeklarasjon av byggevarer : Anvisninger/retningslinjer for egendeklarasjon av byggematerialer.

Gulli et al, 1996

Skogsnæringens transporter 1994. Transportbrukernes Fellesorganisasjon, 1996.

Gustafsson, 1997

Gustafsson, Anders: Massivbyggsystem i Mellaneuropa. L-rapport 9712105. Träteck, Skellefteå, desember 1997

Gustafsson, 1998

Gustafsson, Anders: Väggar av massivträ : Teknik, økonomi, produktion. P-rapport 9812112. Träteck, desember 1998

Gustafsson, 1998

Gustafsson, Martin: Gästforskarbostäder : Ett utvecklingsprosjekt. Träinformation, Sverige, 1998.

Hagen, 1998

Hagen, Monica: Results from cradle to gate assessment of Dynomel L-425. Dyno Technology Centre / HSE Group, 1998.

Heijungs, 1992

Heijungs, R.: Environmental life cycle assessment of products. Guide and backgrounds. Centre of Environmental Science, Leiden, Nederland, 1992.

Heijungs et al, 1997

Heijungs, R.: Impact categories for natural resources and land use : Survey and analysis of existing and proposed methods in the context of environmental life cycle assessment. Centre of Environmental Science, Leiden, Nederland, 1997.

hiwo, 1998

Brettstapel-Bausystem für Architekten, Ingenieure, Holzbaubetriebe (handbuch, hiwo-massiv). Wolfegg, 1998

Holmqvist et al, 1995

Återanvändning av rivningsvirke. SP Rapport 1998:15. SP, Sverige, 1998.

Holmestad, 1999

Åge Holmestad: Personlig kommunikasjon. Mocon AS, august 1999

HolteProsjekt, 1999

Kalkulasjonsnøkkelen 99. HolteProsjekt, 1999

IPCC, 1995

Climate Change 1995 : The Science of Climate Change : Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, 1995

Johansson, 1999

Kurt Johansson: Personlig kommunikasjon. Byggholt a.s, august 1999-08-18

Karjalainen et al, 1994

Karjalainen, Timo et al: Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. Silva Fennica 28(2) s. 67-80, Finland, 1994.

LD, 1997

Skog og klima : Skog og treprodukters potensiale for å motvirke klimaendringer : Rapport fra en arbeidgruppe oppnevnt av Landbruksdepartementet. Landbruksdepartementet (LD), Oslo 1997.

Levende Skog, 1998

Sluttrapport fra delprosjekt 2. Rapport 11. Levende Skog, Oslo, 1998.

Levende Skog, 1998a

Arbeidskraft. Avfallshåndtering. Beskyttelse av skogarealet. Biologisk viktige områder - nøkkelbiotoper. Brannpåvirket skog. Fjellskog. Friluftsliv. Rapport 9a. Levende Skog, Oslo, 1998.

Levende Skog, 1998b

Gamle grove trær og død ved. Genbevaring - Skogstrær. Gjødsling. Hogstformer. Kompetanse. Kulturminner. Kulturlandskap. Rapport 9b. Levende Skog, Oslo, 1998.

Levende Skog, 1998c

Langsiktig virkesproduksjon. Markberedning. Myr og sumpskog. Planlegging i skogbruket. Skogreising/treslagsskifte i skogreisingsstrøk. Rapport 9c. Levende Skog, Oslo, 1998.

Levende Skog, 1998d

Skogsveier. Sprøyting. Terrengetransport. Treslagsfordeling. Vannbeskyttelse. Økologiske prosesser i skoglandskapet. Rapport 9d. Levende Skog, Oslo, 1998.

Myhra et al, 1998

Avrenning fra tømmervanning. Rapport 41. NTI, Oslo, 1998.

Myhra, 1999

Utbytte ved maskinell styrkesortering av konstruksjonstrevirke i Norge. Rapport 44. NTI, Oslo

Natterer, 1997

Natterer, Julius: Stapelbauweise und Holz-Beton-Verbundbauweise. Verdichteter Holzbau in Europa/Dreiländer Holztagung (Artikkel i artikkelsamling fra kongress 2. til 5. november 1997)

NEOS, 1995

Indiana Department of Commerce and the Great Lakes Regional Biomass Program. Contract #CGLG-93-017. NEOS Corporation Urban Wood Waste Resource Assessment, The State of Indiana, February, 1995.

Nero et al, 1999

Boverkets handbok om användning av återvunna byggnadsmaterial. Boverket, Sverige, 1999.

Nilsson, 1999

Lars Nilsson: Personlig kommunikasjon. Axonite AB, Skellefteå, august 1999

Norén et al, 1999

Norén, Asima et al: The Effect of Thermal Inertia on Energy Requirement in a Swedish Building : Results Obtained with Three Calculation Models. International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, Vol. 1 1999

NTI, 1997

Miljødeklarasjon av treindustriens produkter. Rapport 37. NTI, Oslo, 1997.

Nussbaum et al, 1997

Nussbaum, Ralph et al: Utslipp till luft av flyktiga organiska ämnen (VOC) från virkestorkar : Förstudie. P-rapport 9709085. Träteknik, 1997.

Pettersen, 1999

Pettersen, Trine Dyrstad: Økoprofil. Internett-utgave. NBI, sept. 1999.

Pleym et al, 1994

Pleym, Harald et al: Miljøstudier. NKI-forlaget, 1994.

Samuelsson, 1998

Samuelsson, Sture: Massivträbyggande : State of the art. Bilag til "Prosjektbeskrivning trätunga komponenter" oversendt Nordisk Industrifond 1999-03-15. Stockholm, 1998-03-07

Sas et al, 1997

Sas, H. et al: Extraction of biotic resources : Development of a methodology for incorporation in LCAs : With case studies on timber and fish. Report no. 1997/30. Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), 1997.

SINTEF, 1992

ENØK i bygninger : Håndbok for planlegging, gjennomføring og oppfølging. NTH/NTNU/SINTEF. Trykt: Oslo : Universitetsforlaget, 1992.

SSB, 1999

Naturressurser og miljø 1999. Statistisk sentralbyrå (SSB), Oslo, mars 1999.

STU, 1985

Sågverkens energibalans. Styrelsen för Teknisk Utveckling, Sverige, 1985.

Tillman, 1991

Miljön och förpackningarna. SOU 1991:77. Miljödepartementet, 1991.

Torjul, 1999

Torjul, Lars: Kan vi lage trehus av tre? Skogindustri 7-8/99.

Träinformation, 1995

Trä i kretsloppet. Informationspärm. Träinformation, Stockholm, 1995.

Träinformation 1/98

Träinformation : En tidning om trä. Nummer 1/98. Tema: Massivträbyggande. (<http://www.trainformation.se/>). Stockholm, 1998

Träinformation 2/99

Träinformation : En tidning om trä. Nummer 2/99. Tema: Flervåningshus. (<http://www.trainformation.se/>). Stockholm, 1999

Träteck, 1996

Massivbjälklaget : Plattbjälklag av trä til byggnader med höga krav. I serien "kontenta", 9604030. Träteck, 1996

Träteck, 1997

Vetenskapsstaden : Gästforskarbostäder : ett utvecklingsprojekt med trämassivt byggande. P-rapport 9712114. Träteck, Stockholm, desember 1997

Ullvén, 1998

Ullvén, Karin: Återvinning av konstruktionsvirke. Bygg och teknik nr. 4/98, s. 33-34. Stockholm, Sverige.

Wenzel et al, 1996

Wenzel, H., Hauschild, M., Rasmussen, E.: Miljøvurdering af produkter : UMIP. Miljøstyrelsen og Dansk Industri, 1996.

Zimmer et al, 1996

Stoff- und Energiflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkstoff 54 (1996). Springer-Verlag, 1996.