



Reduksjon av klimabelastninger fra byggebransjen
- ved økt bruk av tre og annen biomasse

Forprosjekt 1:

Aktiv substitusjonseffekt ved økt treforbruk i nybygg



NAL | NABU

senter for bærekraftig arkitektur og stedsutvikling



GAIA LISTA as

Forord

Rapporten beskriver *Forprosjekt 1* i prosjektet *Reduksjon av klimabelastninger fra byggebransjen - ved økt bruk av tre og annen biomasse*. *Forprosjekt 1* tar for seg treprodukter og aktiv substitusjonseffekt, mens et påfølgende *Forprosjekt 2* skal gjennomgå andre aktuelle biomasse-materialer samtidig som også passiv substitusjonseffekt ved karbonlagring i produkter problematiseres. Forprosjektene representerer innledende undersøkelser og skal resultere i statusrapporter for dagens kunnskapsnivå samt søke å gi indikasjoner på klimamessig betydning av økt bruk av biomasse i nye bygninger. Dette skal igjen danne grunnlag for utviklingen av hovedprosjekt.

Forprosjekt 1 er finansiert gjennom SND Treprogrammet. *NAL | NABU - senter for bærekraftig arkitektur og stedsutvikling* er prosjektansvarlig. Prosjektet er utført av sivilarkitekt Bjørn Berge ved Gaia Lista AS. Katharina Bramslev (*hambra*) og Stein Stoknes (NAL | NABU) har stått for kvalitetssikringen.

Til Forprosjekt 1 er det knyttet en referansegruppe bestående av følgende deltagere: Katharina Bramslev (*hambra*), Jarle Svanes (Norsk Treteknisk Institutt), Aasmund Bunkholt (TreFokus) og Snorre Synnestvedt (Skogselskapet). Audun Rosland fra Statens Forurensningstilsyn har gitt nyttige underlag og informasjon vedrørende tekniske og formelle forhold knyttet til drivhuseffekt og Kyoto-protokollen.

Lista/Oslo 23.05.2004

Bjørn Berge
Gaia Listas AS

Stein Stoknes
NAL | NABU

Sammendrag

Norge står overfor store utfordringer når utslippene av klimagasser skal reduseres for å innfri kravene i Kyotoavtalen. Uten drastiske tiltak er det forventet at vi i 2010 sitter igjen med et års-overskudd på 12 mill. tonn CO₂-ekv. som må bort.

Byggebransjen er en av landestore næringer og representerer en betydelig andel av de nasjonale klimabelastningene, dels gjennom produksjon og vedlikehold av bygninger, men også i avfallsfasen. Det har i de senere år framkommet indikasjoner på at økt innslag av biomasse i materialbruken vil redusere disse belastningene. Forprosjekt 1 har vurdert relevansen av dette med hensyn på substitusjon av mineralske materialer/produkter med trebaserte alternativer i nybygg. Bare aktive substitusjonseffekter som følge av reduserte klimagassutslipp gjennom livsløpet er vurdert. Passive substitusjonseffekter ved at vegetabiliske materialer også har bundet opp CO₂ gjennom fotosyntesen blir først undersøkt i Forprosjekt 2.

Det har ikke vært gjennomført egen forskning i prosjektet. Undersøkelsene er basert på bearbeiding og systematisering av foreliggende studier, i første rekke fra Skandinavia, men også relevant materiale fra det Europeiske kontinentet er behandlet.

Det må generelt kunne slås fast at omfanget og innholdet av kildematerialet er mangelfullt og lite egnet til å fastslå med særlig presisjon den klimamessige betydningen av substitusjon til tre. En betydelig grad av skjønnsmessige vurderinger har således vært nødvendig.

Det er gjennomført scenarier med *middels økning* og *høy økning* av treforbruket, der *middels økning* tar utgangspunkt i antatt realistiske rammer for treforbruk, men likevel med forutsetning om betydelig omstillingsevne i byggebransjen. *Høy økning* representerer et antatt praktisk maksimum for bruk av tre i nybygg.

Potensialet for reduksjon av klimagassutslipp ved substitusjon til tre i nybygg er anslått til ca. 0,3 mill. tonn CO₂-ekv. per år ved *middels økning* i treforbruket og 0,8 mill. tonn CO₂-ekv. per år ved *høy økning*. Med ulike forbedringstiltak i produksjon og avfallsbehandling kan reduksjoner på henholdsvis i underkant av 0,4 og overkant av 1,1 mill. tonn CO₂-ekv. per år oppnås. Men anslagene er usikre og vil raskt kunne variere med 0,1 mill. tonn i begge retninger.

Klimagevinsten av økt substitusjon til tre kan på denne bakgrunn anses som vesentlig. Innenfor rammene av *middels økning* av treforbruket, vil klimabelastningene knyttet til materialbruken gjennom en bygnings livsløp kunne reduseres med mellom 20% og 30% avhengig av hvilke ekstratiltak som settes inn i produksjon og avfallsbehandling. I ekstrem scenariet *høy økning* vil reduksjonen overskride 80%.

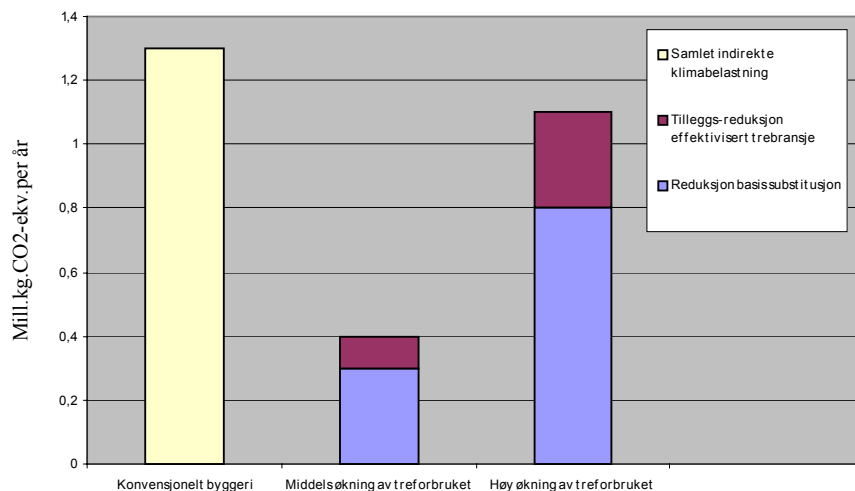


Fig.0.1: Klimaeffekt av substitusjon til tre i nybygg ved henholdsvis middels og høy økning i treforbruket, sammenlignet med materialrelaterte belastninger i konvensjonelt byggeri. Beregningene tar utgangspunkt i at alle nybygg i løpet av en periode på 50 år oppføres med samme tiltaksnivå.

På bakgrunn av det samlede behovet for innsparinger i de norske klimagassutslippene kan betydningen av substitusjon til treprodukter i byggebransjen synes liten. Som et av mange enkelttiltak må det likevel betraktes som et vesentlig bidrag. Men samtidig må vi ta i betraktning at byggebransjen er en konservativ bransje med mange kryssende interesser og at tidsperspektivet fram til 2010 nok blir en smule urealistisk.

Vi skal også være oppmerksomme på at blant annet betong-, stål- og aluminiumsprodusentene hele tiden forbedrer seg. Dette innebærer at trebransjen fortsatt må skjerpe seg for å beholde forspranget som er opparbeidet.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
Innhold	5
1.0 Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.1.1 Kyotoavtalen og norske forpliktelser	9
1.1.2 De ulike klimagassene	9
1.2 Byggebransjen og drivhuseffekten	10
1.2.1 Indirekte og direkte klimabelastninger	10
1.2.2 Fordeling på indirekte og direkte klimabelastninger	10
1.2.3 Indirekte klimabelastninger gjennom bygningens livsløp	11
1.2.4 Bygningsmassens samlede belastninger	11
1.2.5 Strategier for reduserte klimabelastninger i bygningssektoren	12
2.0 Prosjekt og metode	13
2.1 Introduksjon til prosjektet	13
2.1.1 Bakgrunn	13
2.1.2 Faser i prosjektet	13
2.1.3 Forprosjekt 1	14
2.2 Prinsipper, metoder og begrensninger	15
2.2.1 Introduksjon	15
2.2.2 Metode	16
2.2.3 Forutsetninger i prosjektet	16
2.2.4 Begreper og definisjoner	17
3.0 Klimaeffekter av substitusjon til tre	18
3.1 Kildebehandling og beregning av substitusjonseffekt	18
3.1.1 Introduksjon	18
3.1.2 Kildegrunnlaget	18
3.1.3 Bruk av kildene	19
3.1.4 Beregning av substitusjonseffekt	20
3.2 Bygningsdelenes klimabelastning	21
3.2.1 Tak og bjelkelag	21
3.2.2 Ytter- og innervegger	22
3.2.3 Drøfting	22
3.3 Bygningenes klimabelastning	23
3.3.1 Småhus	23
3.3.2 Boligblokker og næringsbygg	23
3.3.3 Drøfting	24
3.4 Spesifikke substitusjonseffekter	24
3.4.1 Bestemmelse av spesifikke substitusjonseffekter	24
4.0 Mulig treforbruk i bygninger	27
4.1 Grunnlag	27
4.1.1 Introduksjon	27
4.1.2 Inndeling i brannklasser	27

4.2	Konstruksjoner av tre	28
4.2.1	Lette kontra massive konstruksjoner	28
4.2.2	Tak	28
4.2.3	Etasjeskiller	28
4.2.4	Innervegger	29
4.2.5	Yttervegger	29
4.2.6	Vinduer, dører og trapper	30
4.3	Treforbruk i bygninger	30
4.3.1	Mulig treinnhold i bygningsdeler	30
4.3.2	Mulig treinnhold i bygninger	31
4.3.3	Mulig treforbruk	32
5.0	Scenarier middels og høy økning i treforbruket	33
5.1	Grunnlag	33
5.1.1	Introduksjon	33
5.1.2	Forutsetninger	33
5.1.3	Treforbruk i norske nybygg	34
5.1.4	Fordeling av materialer i de ulike konstruksjonstypene	34
5.1.5	Samlet scenariegrunnlag	35
5.2	Basisscenarie uten avfallsfase	36
5.2.1	Resultater	36
5.3	Basisscenarie med avfallsfase	36
5.3.1	Introduksjon	36
5.3.2	Resultater	37
5.4	Forbedringstiltak gjennom livsløpet	38
5.4.1	Introduksjon	38
5.4.2	Redusert bruk av fossil energi i produksjonsfasen	38
5.4.3	Reduserte transportbelastninger	39
5.4.4	Økt gjenbruk i avfallsfasen	40
5.4.5	Forbedret energigjenvinning	41
5.5	Samlescenarier	42
5.5.1	Introduksjon	42
5.5.2	Basisscenario med gjenbruk	43
5.5.3	Basisscenario med forbedringstiltak i produksjons- og driftsfase	43
5.5.4	Basisscenario med energigjenvinning og aktuelle forbedringstiltak i produksjons- og driftsfase	44
5.5.5	Scenariene med følsomhets-spenn	45
5.6	Godskriving etter Kyotoprotokollen	45
5.6.1	Introduksjon	45
5.6.2	Substitusjon i Kyotoavtalen	45
5.6.3	Substitusjon i det norske klimaregnskapet	46
6.0	Diskusjon av resultater	48
6.1	Oppsummering av resultater	48
6.1.1	Reduserte klimagassutslipp	48
6.1.2	Substitusjon og nasjonale perspektiver	49
6.1.3	Norge og andre land	49
6.1.4	Effekt av karbonlagring	49
6.2	Proessen	50
6.2.1	Svakheter i prosjektgrunnlaget	50
6.2.2	Metodiske usikkerheter	50
6.3	Andre miljøaspekter ved økt bruk av tre	50
6.3.1	Introduksjon	50

7.0 Kilder	51
Tillegg 1: Indirekte klimabelastninger gjennom livsløpet	57
T1.1 Indirekte klimabelastninger fordelt på livsløpsfaser	57
T1.1.1 Råvareutvinning og foredling	57
T1.1.2 Byggefase	60
T1.1.3 Bruksfasen	61
T1.1.4 Avfallsfasen	61
T1.2 Interaksjon mellom materialvalg og fundamenteringsbehov	62
T1.3 Interaksjon mellom indirekte og direkte klimabelastninger	62
Tillegg 2 Metodikk og datagrunnlag	64
T2.1 Variasjoner i kildegrunnlaget	64
T2.1.1 Karakteristikk	64
T2.1.2 Funksjonelle enheter	65
T2.1.3 Systemgrenser	65
T2.1.4 Datagrunnlag	66
T2.2 Valg av forutsetninger og datagrunnlag i forprosjektet	66
T2.2.1 Introduksjon	66
T2.2.2 Datagrunnlag for energibruk	67
T2.2.3 Godskrivning av energigjenvinning	67
T2.2.4 Godskrivning av varmelagringsevne	68
Tillegg 3 Planter i karbonsyklusen	69
T3.1 Karbonsyklusen	69
T3.1.1 Overordnede prosesser	69
T3.1.2 Planteprodukter i karbonsyklusen	69
Tillegg 4 Trevirke: Råvarer	71
T4.1 Råstoffer av trevirke	71
T4.1.1 Trevirkets egenskaper	71
T4.1.2 Bruksområder	71
T4.2 Ressursgrunnlag	73
T4.2.1 Globalt	73
T4.2.2 Europa	73
T4.2.3 Norges ressursgrunnlag	73
T4.2.4 Ressursutnyttelse	74
T4.2.5 Import og eksport av biomasse	75
Tillegg 5 Treproduktene klimabelastninger	76
T5.1 Klimabelastninger gjennom livsløpet	76
T5.1.1 Introduksjon	76
T5.2 Råvareutvinning	76
T5.2.1 Kultivering	76
T5.2.2 Hogst og uttransportering	76
T5.2.3 Transport til foredlingsbedrift basisråvarer	77
T5.3 Foredling	77
T5.3.1 Produktområder	77
T5.4 Heltreprodukter	77
T5.4.1 Forbehandling	77
T5.4.2 De ulike heltreproduktene	79
T5.5 Finer, treull, flis og fiber	81
T5.5.1 Forbehandling	81

T5.5.2	Produkter basert på finer, treull, flis og fiber	81
T5.6.	Cellulose	83
T5.6.1	Forbehandling	83
T5.6.2	Celluloseprodukter	83
T5.7	Ekstrakter	84
T5.7.1	Introduksjon	84
T5.7.2	Produkter	85
Tillegg 6 Klimabelastninger fra konkurrerende produkter		86
T6.1	Klimabelastninger gjennom livsløpet	86
T6.1.1	Introduksjon	86
T6.2	Metaller, betong, gips, tegl og plast	86
T6.2.1	Metaller	86
T6.2.2	Produkter basert på ikke-metalliske mineraler	87
T6.2.3	Produkter basert på blandede løsmasser	88
T6.2.4	Produkter basert på fossile råvarer	88
Tillegg 7 Bibliografi og samlede analyseresultater		89
T7.1	Presentasjon av enkeltstudiene	89
T7.2	Samlede analyseresultater	95
T7.2.1	Tak, bjelkelag, ytter- og innervegger	96
T7.2.2	Golvbelegg og vinduer	97
T7.2.3	Hele bygninger	98

1.0 Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Kyotoavtalen og norske forpliktelser

Norge underskrev Kyotoavtalen i mai 2002. I følge denne skal Norges utslipp av klimagasser i perioden 2008 til 2012 ikke overskride utslippsnivået i 1990 med mer enn 1%. Bare i løpet av 1990-tallet økte utslippene med 6% og forventes å øke med enda 11% fram til 2010 hvis ikke drastiske tiltak iverksettes (Miljøstatus i Norge, SFT nov. 2002).

Det er også viktig å være oppmerksom på at tiltaksnivået i første avtaleperiode er lavt og mer har preg av konsolidering av partnere. Det er antatt at ambisjonsnivået for neste periode vil og må legges betydelig høyere for i det hele tatt å oppnå klima-effekt av betyding.

1.1.2 De ulike klimagassene

Karbondioksid CO₂ er den viktigste klimagassen og utgjør ca. 75% av de norske klimagassutslippene. Andre klimagasser regnes om til CO₂-ekvivalenter avhengig av deres individuelle styrke og levetid i atmosfæren. I 1990 rundet de samlede norske klimagassutslippene 50 mill. tonn CO₂-ekvivalenter per år.

Klimagasser	Klimaeffekt over 100 år [kg CO ₂ -ekv./ kg]
Karbondioksid CO ₂	1
Metan, CH ₄	21
Lystgass, N ₂ O	310
Hydrofluorkarboner, HFK	140-11700 ¹
Perfluorkarboner, PFK	6500-9200 ²
Svovelheksafluorid, SF ₆	23 900

Tabell 1.1: De viktigste klimagassene og deres klimaeffekt, oppgitt i CO₂-ekvivalenter over 100 år, etter bl.a. (Godal 2002)

Kildene for klimagassutslipp kan grovt inndeles i *energiproduksjon* og *kjemiske prosesser* i industriproduksjon og avfallsbehandling.

De energirelaterte klimagassutslippene dominerer og har framfor alt utgangspunkt i forbrenning av fossilt brennstoff i stasjonær kraftproduksjon og i transportsektoren.

¹Omfatter HFK-23 (11 700), HFK-32 (650), HFK-125 (2800), HFK-134a(1300), HFK-143a(3800), HFK-152a(140)

²Omfatter CF₄(6500), C₂F₆(9200), C₃F₈ (7000)

1.2 Byggebransjen og drivhuseffekten

1.2.1 Indirekte og direkte klimabelastninger

En bygning er ansvarlig for større eller mindre klimagassutslipp gjennom hele livsløpet fra råvarene hentes ut gjennom bruksfasen fram til riving og avfallsfasen. Det er vanlig å skille mellom *direkte* og *indirekte* klimabelastninger (Gielen 1997), (Nemry 2001).

De direkte klimabelastningene har utgangspunkt i bygningens energibehov i bruk; til oppvarming, ventilasjon og andre formål.

De indirekte belastningene knytter seg i første rekke til materialbruken og omfatter utslipp fra produksjon og transport av byggevarer, fra oppføring og vedlikehold av bygninger og i siste omgang fra avfallsbehandlingen. Det er en klar tendens til at produksjonsfasen inkludert transport av råvarer og ferdigprodukter har størst betydning.

1.2.2 Fordeling på indirekte og direkte klimabelastninger

Belastningsprofilen varierer mye fra bygningstype til bygningstype der materialbruk og bruksmønstre er avgjørende momenter. Energiforbruket gjennom bygningens livsløp kan i et visst mon benyttes som indikator, men her vil fordelingen på energibærere raskt kunne forstyrre bildet. Det er en klar tendens til at fossile brennstoffer i større grad benyttes i produksjon enn i drift av bygninger.

En undersøkelse av energiforbruk og klimabelastning i noen norske bygningstyper viste at mens energiforbruket knyttet til materialbruken (*det indirekte energiforbruket*) gjennom livsløpet normalt utgjorde 7 - 11% av totalforbruket lå den tilsvarende indirekte klimabelastningen i området 28-45% (Thyholt 1999). Og i beregningene var heller ikke utslipp av klimagasser utover CO₂ medtatt, noe som ytterligere ville ha forsterket tendensen.

Det er også klare tegn til at de indirekte klimabelastningene vil styrke sin andel i årene som kommer. Det er vedtatt politikk at oppvarming og drift av bygninger i hovedsak skal skje med elektrisk energi basert på vannkraft (NOU 1998). Samtidig legges det stadig større vekt på ENØK-tiltak i bebyggelsen ledsaget av skjerpede forskrifter og økonomiske støtteordninger.

I lavenergihus vil det indirekte energiforbruket raskt overstige 30% av totalt energiforbruk gjennom livsløpet (Winter 1997). Dette har dels utgangspunkt i økt materialforbruk til varmeisolasjon og installasjoner, men også redusert oppvarmingsbehov. I ekstreme danske lavenergi boliger har det indirekte energiforbruket vist seg å være betydelig høyere enn energiforbruket til oppvarming og ventilasjon (Nielsen 1995).

Materialbruken vil således bli et stadig viktigere tema. Selvfølgelig vil dette føre til at også materialprodusentene vil forbedre seg, men her er potensialet trolig mindre (Gielen 1997).

En annen viktig grunn til å ta de indirekte klimabelastningene, særlig i tilvirkningsfasen, alvorlig er at disse utslippene har sin hovedtyngde helt i begynnelsen av bygningens livsløp, og dermed gir raskere effekt enn de direkte klimabelastningene der utslippene gjerne fordeler seg jevnt over 50-100 år.

1.2.3 Indirekte klimabelastninger gjennom bygningens livsløp

De indirekte klimabelastningene fordeler seg på fasene tilvirkning, vedlikehold og avskaffelse av bygningene. Fordelingene disse imellom varierer noe og i første rekke med bakgrunn i ulik materialbruk og transportdistanser, men tilvirkningsfasen er uansett den dominerende.

Belastningene foregår på delområdene *produkter*, *transport* og *arbeider* som i større og mindre grad gjør seg gjeldende gjennom hele livsløpet. Se utfyllende informasjon i Tillegg 1.

Produktområdet omfatter i første rekke utslippene som kan knyttes til produksjonen av byggevarer, ofte inkludert mellomtransporter, og fram til byggevarer sendes ut av fabrikkporten. Også i vedlikeholdsfasen vil det være behov for nye produkter og i avfallsfasen vil enkelte materialer kunne avgis klimagasser avhengig av kjemisk sammensetting og behandlingsmåte. Prosessmessige klimabelastninger utover karbondioksid-belastningene har som regel opphav i produktområdet.

Transportområdet er mer vilkårlig der materialenes vekt og volum samt avstanden til byggeplass og i neste omgang anlegg for avfallsbehandling er avgjørende. Praktisk talt all transport av ferdige byggevarer og i neste omgang rivningsavfall foregår med diesel- og bensindrevne transportmidler. Transportandelen av klimabelastningene ligger gjerne i området 10-30%, men kan bli betydelige hvis produktene er tunge og avstandene store.

Arbeidsområdet omfatter manuelt og maskinelt arbeid på byggeplass, vedlikeholds- og fornyelsesarbeider samt rivningsarbeider. Energiinnsatsen bak manuelt arbeid beregnes vanligvis så lavt som 0,1 kWh per arbeidstime og klimagassutslippene blir tilsvarende neglisjerbare. I konvensjonelt byggeri er det særlig bruken av byggtørker og maskiner som kan dra opp energiforbruket. I riving er maskinell drift basert på diesel dominerende. Likevel er arbeidsnivåets andel av de totale indirekte klimabelastningene små, sjelden over 10% (Fossdal 1995).

1.2.4 Bygningsmassens samlede belastninger

For 1997 ble utslippet av klimagassen CO₂ fra oppvarming og ventilasjon av bygninger beregnet til 5,5 mill. tonn. Da var utslipp fra fyring med biobrensel trukket fra³ (Tokle 1999). Det er sannsynlig at dette anslaget holder også i dag. Vi har hatt en svak vekst av bygningsmassen, men samtidig har energiforbruket gått noe ned per arealenhet som følge av forbedret teknologi og skjerpede forskrifter på energiltak.

I de indirekte belastningene vil også bygg uten oppvarmingsbehov av betydning tas med, som landbruksbygninger, fritidsbygg, parkeringshus, garasjer o.l. som i antall enheter utgjør 1,9 av landets ialt 3,5 millioner bygninger (Enlid 1999/1).

I Norge oppføres det hvert år ca. 7 mill. m² nybygg (Statistisk Sentralbyrå 2001). Det er grovt anslått at de indirekte klimabelastningene knyttet til oppføring av boliger og næringsbygg utgjør ca. 0,13 tonn per m² bare for klimagassen CO₂ (Thyholt 1999), som gir

³Forbrenning av biomasse regnes som klimanøytralt ettersom det ikke avgis mer CO₂ enn det som er bundet gjennom fotosyntesen, se Tillegg 3 "Planter i karbonsyklusen".

en samlet belastning på i overkant av 0,9 mill. tonn CO₂. Det er vanlig å anta at dette utgjør ca. 70% av de indirekte CO₂-utslippene for en årsgenerasjon av nybygg. Resten, som har utgangspunkt i utskiftinger, vedlikehold og avfallsbehandling kalkuleres således til ca. 0,4 mill. tonn CO₂ over en forventet levetid på 50 år. I tillegg kommer utslipp av andre klimagasser som det foreløpig ikke finnes noe tilgjengelig dimensjoneringsgrunnlag for.

Med utgangspunkt i foreliggende statistikk (Jacobsen 2001) er det grunn til å anta at de indirekte klimagassutslippene i driftsfasen i praksis er betydelig høyere enn det her er antydnet. Bakgrunnen for dette kan være stadig hyppigere og mer omfattende endringsarbeider i eksisterende bebyggelse samt at levetiden ofte strekkes godt utover forventet levetid på 50 år gjennom omfattende rehabiliteringsarbeider.

Et totalutslipp fra bygningsmassen på opp mot 10 mill. tonn CO₂-ekvivalenter per år er således kanskje ikke usansynlig, men samlende beregninger foreligger ikke.

1.2.5 Strategier for reduserte klimabelastninger i bygningssektoren

Mens klimabelastning er et relativt nytt aspekt i bygningsammenheng, har energiforbruket lenge vært sett på som et viktig tema. Disse forholdene er samtidig tett forbundet og på kort sikt er redusert driftsmessig energiforbruk i bygningsmassen trolig den mest nærliggende tiltaksmodellen for reduksjon av klimabelastninger. Men også andelen indirekte klimabelastninger kan reduseres og mulighetene fordeler seg på to hovedstrategier; *effektivitets-strategien* og *substitusjons-strategien* (Gielen 1997).

Effektivitetsstrategien går i korthet ut på å gjøre det samme med mindre ved at materialer og konstruksjoner utføres med lavere forbruk av råvareressurser og energiinnsats. I tillegg til mer material- og energi-effektive produksjonsmåter er økt materialgjenvinning og gjenbruk av komponenter viktige innfallsvinkler.

Substitusjonsstrategien har i utgangspunktet to delaspekter:

1. Substitusjon av særlig klimabelastende ingredienser og energibærere i produktene
2. Substitusjon av særlig klimabelastende produkter med mindre belastende alternativer.

2.0 Prosjekt og metode

2.1 Introduksjon til prosjektet

2.1.1 Bakgrunn

Det er i løpet av de senere årene framkommet indikasjoner på at ingredienser av biomasse og biomasseprodukter vil kunne innebære lavere klimabelastninger enn konkurrerende produkter av eksempelvis stål, betong, plast og aluminium. Det produksjonsmessige energiforbruket er lavere og ofte basert på klima-nøytralt biobrensel. Samtidig kan produktene ofte energigjenvinnes etter uttjent bruk og således erstatte forbrenning av fossile brennstoffer. Biomasse vil også binde karbondioksid gjennom vekstfasen og mellomlagre dette til huset rives og materialet destrueres. Det er antatt at høyere prioritering av klimaspørsmål vil øke det generelle forbruket av biomasse til energi og materialer til det dobbelte innen 2030. Dette er globalt sett forventet å føre til en reduksjon av klimagassutslippene på ca. 9% i forhold til 1990-nivå (Feber 2001).

Samtidig kan vi observere at utviklingen i mye av byggebransjen trekker i motsatt retning der tradisjonelle bruksområder for tre invaderes av andre materialer, eks. stendere av stål, vinduer av vinyl og aluminium etc.

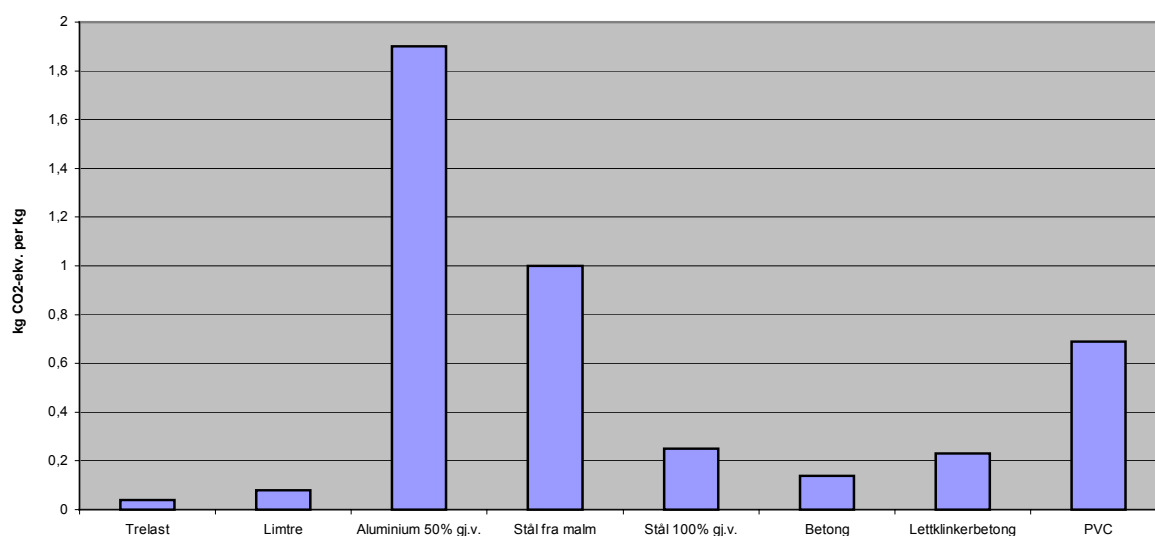


Fig. 2.1: Produksjonsmessige klimabelastninger for ulike materialer, oppgitt per kilo. Se detaljer i Tabell T1.2.

2.1.2 Faser i prosjektet

Prosjektet tar sikte på å undersøke klimapotensialet ved økt bruk av biomasse i den norske byggebransjen

Fokus vil være nybygg. Det er i første rekke her treforbruket kan økes selv om det løpende forbruket er betydelig høyere innen rehabilitering, ombygging og vedlikehold

(Jacobsen 2001). Det er således *betydningen av økte treandeler* vi er ute etter, ikke forbruket i seg selv.

Prosjektet er inndelt i en forprosjektfase og et hovedprosjekt, der forprosjektet skal hente inn, systematisere og diskutere eksisterende kunnskap, mens hovedprosjektet skal bygge ut dokumentasjon og legge til rette for ny-utvikling i bransjen.

Forprosjektet er to-delt der del 1 tar for seg treprodukter og *aktiv substitusjonseffekt*, mens del 2 går tyngre inn i karbonlagringsaspektet (*passiv substitusjonseffekt*) samtidig som også andre planteprodukter undersøkes.

Aktiv substitusjonseffekt beskriver, når den er positiv, reduserte klimabelastninger som følge av at produktet i produksjon, bruk og avfallsbehandling representerer lavere klimabelastninger enn produktene det substitueres mot.

Passiv substitusjonseffekt beskriver på samme måte reduserte klimabelastninger ved substitusjon, men da som følge av at karbon er bundet i materialet gjennom fotosyntesen, se Tillegg 3. *Passiv substitusjonseffekt* gjelder således bare ved substitusjon til vegetabiliske materialer og utgjør sammen med *aktiv substitusjonseffekt* den samlede substitusjonseffekten.

Et bredest mulig spekter av vegetabiliske byggevarer vil undersøkes, med prioritering for produkter med stor betydning i bygningssammenheng. Også forutsetninger for klimaoptimaliserende tiltak vil diskuteres blant annet med hensyn på produksjonsprosesser, transportinnsats og avfallsbehandling.

Prosjektet vil begrense seg til bygningens livsløp fra og med uthenting av råvarer. Klima-dynamikken i skogbruket vil bare i liten grad berøres.

2.1.3 Forprosjekt 1

På bakgrunn av eksisterende studier vil *Forprosjekt 1* undersøke den aktive substitusjonseffekten ved overgang til høyere treforbruk i nybygg. Det vil også søkes å gi svar på hvor mye trevirke det er aktuelt å substituere med og indikere den samlede klimaeffekten av denne substitusjonen på nasjonalt nivå.

Prosjekt-rapporten er to-delt med en hoveddel der primærproblemstillingene søkes belyst samt en bi-del til underbygging av denne. Bi-delen er organisert som tillegg. Disse tilleggene kan i stor grad betraktes som selvstendige del-prosjekter der formålet også er å gi rom for alternative vurderinger og beregninger.

Følgende inndeling av kapitler og tillegg gjelder:

Kap. 1. Innledning gir en skissemessig introduksjon til klimaproblematikken

Kap. 2. Prosjekt og metode presenterer kort prosjektets oppbygning og forutsetninger og forståelsesgrunnlag som legges til grunn for gjennomføringen

Kap. 3. Klimaeffekter av substitusjon til tre sammenligner klimaeffektene av konstruksjonsløsninger med høyt innslag av trevirke med alternative konstruksjonsmåter. Spesifikke substitusjonseffekter søkes dimensjonert

Kap. 4. Mulig treforbruk i bygninger presenterer begrensninger og muligheter for bruk av tre i ulike bygningskonstruksjoner. Maksimalt treforbruk søkes dimensjonert.

Kap. 5. Scenarioer middels og høy økning i treforbruket undersøker det samlede klimapotensialet ved henholdsvis middels og høy økning av treforbruket i nybygg. Også betydning for de norske Kyoto-forpliktelsene diskuteres.

Kap. 6. Diskusjon av resultater oppsummerer og vurderer hovedtendenser i resultatene.

Kap. 7. Kilder presenterer et bredt kildetilfang som et stykke på vei også vil danne grunnlag for Forprosjekt 2.

Tillegg 1: Indirekte klimabelastninger gjennom livsløpet gir en generell beskrivelse av indirekte livsløpsbelastninger som påløper gjennom en bygnings livsløp samt ulike forhold som regulerer disse.

Tillegg 2: Metodikk og datagrunnlag diskuterer analyse-metodikken i studiene som ligger til grunn for sammenligning produkter, bygningsdeler og bygninger imellom. Data-grunnlag for forprosjektet presenteres.

Tillegg 3: Planter i karbonsyklusen med en overordnet introduksjon til plantenes karbondynamikk.

Tillegg 4: Planteråvarer der aktuelle råstoffer av trevirke med egenskaper og bruksområder i bygningssektoren undersøkes.

Tillegg 5: Treproduktenes klimabelastninger med presentasjon av de viktigste trebaserte produktene i byggevirksomheten med hensyn på relevante klimaaspekter.

Tillegg 6: Klimabelastninger fra konkurrerende produkter der ulike produktalternativer gjennomgås.

Tillegg 7: Bibliografi og samlede analyseresultater gjennomgår viktige kilder for gjennomførte livsløpsanalyser med korte referater, samt oppsummerer analyseresultatene.

2.2 Prinsipper, metoder og begrensninger

2.2.1 Introduksjon

Forprosjektet er basert på litteratur framskaffet gjennom informasjonssøk i biblioteker, organisasjons- og firmadatabaser samt relevante faglige direkte-kontakter. Det dreier seg dels om litteratur av generell tre-faglig karakter, dels om gjennomførte livsløpsstudier der blant annet klimakonsekvensene av trehusbygging har vært undersøkt.

Kvalitet og relevans varierer i betydelig grad kildene imellom. Mer om prinsipper for utvelgelse og prioritering av kildegrunnlag er gitt i Tillegg 2.

Det er hele tiden søkt å benytte primærkilder. Men blant annet på grunn av begrenset tilgjengelighet og/eller språkbarrierer har sekundærkilder i noen tilfeller vært benyttet.

2.2.2 Metode

Med utgangspunkt i en systematisering av kildematerialet er det kalkulert mulige *økninger av treforbruket* i aktuelle bygningstyper. Med bakgrunn i livsløpsstudiene er det søkt å dimensjonere *spesifikke substitusjons-effekter* for ulike materialoverganger, for eksempel fra stål til tre. De spesifikke substitusjons-effektene har som oppgave å beskrive innsparte klimagassutslipp per vektenhet økt treforbruk og benyttes i scenarier for kalkulasjon av de samlede klimaeffektene av substitusjon til trevirke i nybygg. Også betydningen av forbedringstiltak innen treindustrien vurderes.

2.2.3 Forutsetninger i prosjektet

De ulike livsløpsstudiene har gjerne ulike innfallsvinkler, systembegrensninger og datagrunnlag. Dette vil i mange tilfeller påvirke resultatene. For likevel å sikre bruksverdien har det vært nødvendig å gjennomføre enkelte samlende konvensjoner på prinsipper, metoder og begrensninger. Noe av disse er diskutert nærmere i Kapittel 5 og i Tillegg 2. I Tillegg 7 er eventuelle inngrep i de enkelte kildene beskrevet.

Følgende forutsetninger gjelder:

- Alle klimabelastninger angis i globalt oppvarmingspotensial (GWP) og forholder seg til tidshorisont 100 år som er sammenfallende med retningslinjene i Kyotoprotokollen.
 - Deponering av treavfall er ikke problematisert ettersom det anses som en lite aktuell behandling på sikt. I såvel Sverige som Danmark er deponering av brennbart virke allerede praktisk talt avskaffet.
 - Alle klimagasser er søkt inkludert når de representerer belastninger av betydning for resultatet.
 - Elektrisk kraft er belastet for andel fra fossile energikilder i det norske kraftnettet.
 - Gjenbinding av karbondioksid ved karbonatisering av betong er ikke akseptert som tiltak i Kyotoavtalen og heller ikke medtatt her.
 - Redusert energiforbruk i driftsfasen som følge av høy varmelagringssevne er godskrevet for tunge konstruksjoner.
 - Levetiden for bygninger er satt til 50 år som er vanlig standard i skandinaviske livsløpsanalyser.
 - Treforbruk er oppgitt for ferdig bearbejdede produkter.
 - I bruksfasen er det utelukkende tatt hensyn til materialforbruk i teknisk fornyelse.
- Dette er i overensstemmelse med vanlig prosedyre for livsløpsanalyser, men man går glipp av tildels store materialforbruk som følge av stadig hyppigere ombygginger og tilpasninger, særlig i yrkesbygg.

2.2.4 Begreper og definisjoner

I rapporten vil det forekomme begreper der det er særlig viktig at forståelsesgrunnlaget er klart:

Produkt beskriver en byggevarer som inngår i en bygningsdel, eks. trepanel eller sponplate.

Bygning beskriver et sett av bygningsdeler som tilsammen utgjør en fysisk og funksjonsmessig helhet.

Bygningsdel er en funksjonsbestemt del av bygningen, eks. bjelkelag og vindu, og inkluderer materialer som er nødvendige for sammenhengen med øvrige bygningsdeler.

Treinnhold er den mengden trevirke som til enhver tid befinner seg i produktet, bygningsdelen eller bygningen.

Treforbruk er den mengden trevirke som benyttes gjennom levetiden og omfatter foruten treinnholdet svinn i byggefase og utskifting og fornyelse i bruksfase.

Gjenbruk beskriver avfallsbehandling der produktet i sin helhet blir transportert videre til ny husgenerasjon.

Gjenvinning beskriver avfallsbehandling der energiinnhold eller nedknuste materialfraksjoner videreutnyttes.

Bruksareal (BRA) utgjør bygningens samlede areal innenfor yttervegg med rimelig takhøyde.

3.0 Klimaeffekter av substitusjon til tre

3.1 Kildebehandling og beregning av substitusjonseffekt

3.1.1. Introduksjon

En vurdering av klimabelastning kan foretas på bygningsdelsnivå eller for hele bygninger. I begge tilfeller tar man utgangspunkt i klare funksjonsstandarder, i første rekke for levetid, varmeisolasjon, bæreevne og brannforhold. Når det bygges med produkter som i seg selv ikke oppfyller standardene, må det kompletteres med andre produkter før sammenligninger kan gjennomføres.

Det er ikke gjennomført egne livsløpsanalyser i prosjektet. Resultatene er basert på analyser av foreliggende studier der klimakonsekvenser av økt bruk av trekonstruksjoner direkte eller indirekte har vært undersøkt. I sistnevnte type framkommer relevante resultater uten at problemstillingen i seg selv har vært i fokus.

Formålet med analysene er å bringe frem et best mulig dokumentert grunnlag for videre vurdering av klimaeffekten av substitusjon til tre. Resultatene er oppsummert som ”spesifikk substitusjonseffekter” for ulike materialoverganger, se avsnitt 3.4.

3.1.2. Kildegrunnlaget

De ulike studiene som er benyttet, er overordnet presentert i Tabell 3.1. For generelle betraktninger vedr. kildegrunnlaget og behandlingen av dette vises til Tillegg 2 samt bibliografier i Tillegg 7.

Grovt sett skiller studiene seg fra hverandre ved ulike målsettinger og hvilke deler av livsløpet som behandles. Produksjonsfasen som vil være den mest betydningsfulle i klimasammenheng, er behandlet i samtlige studier mens fasene som ellers tas med varierer mye fra studie til studie. Likeledes vil det til dels være store forskjeller i vurderingsgrunnlaget.

Flere av studiene er forsiktig justert/videre-bearbeidet for å forbedre sammenligningsgrunnlaget. Noen av disse er antydnet i Tabell 3.1, men nærmere gjennomgått i bibliografiene i Tillegg 7.

Kilde	Nasjonalitet	Generell/stedsspesifikk	Livsløpsfaser	Berørte faktorer	Justerte faktorer
Bjørklund 1997	Sverige	Generell	POR	kst	
Damberger 1995	Østerrike	Generell	PODRA	lst	
Fossdal 1995	Norge	Generell	PODR	st	l
Fossdal 1995/2	Norge	Generell	P	s	
Fossdal 1999	Norge	Generell	PODR	st	l
Goverse 2001	Nederland	Generell	P	lst	
Jarnehammer 1998	Sverige	Generell	P/PD	s	
Jönsson 1994	Sverige	Generell	PODRA	kst	
Noren 1998	Sverige	Generell	PODRA	s	
Noren 1999/2	Sverige	Linköping	P	lkst	
Noren 1999/3	Sverige	Linköping	PODRA	ls	k
Noren 2001	Sverige	Malmö	PO	lkrt	
Petersen 1998	Danmark	Generell	PO	lkts	
Petersen 2002/2	Norge	Gardemoen	PODRA	krt	s
Petersen 2002/3	Norge	Gardemoen	PODRA	krt	s
Svanes 2002	Norge	Trondheim	P	ks	

Tabell 3.1: Oversikt over kilder som er benyttet i kapitlet, med angivelse av alder, lokalitet og art. Behandlede livsløpsfaser er oppgitt med P = produksjon, O = oppføring, D = drift, R = riving, A = avfallsbehandling. Særlig utslagsgivende faktorer i datagrunnlag og behandlingsmåte er angitt og presentert som l = elektrisitet er belastet, k = klimagasser utover CO₂ er inkludert, r=utgangspunkt i rundtømmer, s = utgangspunkt i saget virke, t = transport fra fabrikk til byggeplass er inkludert.

3.1.3 Bruk av kildene

I bearbeidningen av studiene er avfallsfasen søkt utskilt. Det vil kildene imellom være betydelige dissenser på vurdering av avfallsbehandling, og potensialet for sammenligninger glipper lett, se Tillegg 2. Til gjengjeld er variabler innen avfallsaspektene grundigere behandlet i Scenarie-kapittelet (Kap. 5). Ved å skille ut avfallsbehandlingen vil også studier som utelukkende betrakter produksjonsfasen danne relevant sammenligningsgrunnlag for bygningsdeler der behovet for vedlikeholdsmessig fornyelse er lavt.

Resultatene av bearbeidelsen av studiene er ordnet i skjemaer for henholdsvis bygningsdeler og for bygningstyper.

I bygningsdelsskjemaene Tabell 3.2 til 3.4 opereres det med funksjonell enhet m^2 bygningsdel som basis, mens det i bygnings skjemaene Tabell 3.5 til 3.6 benyttes m^2 bruksareal (BRA).

Bare indirekte klimabelastninger er behandlet. Den klimamessige betydningen av økt varmelagringssevne i tunge konstruksjoner er imidlertid lagt inn etter retningslinjer anvist i Tillegg 2. Betydningen av varmelagringssevne varierer mellom hustypene. I bygningsdelstabellene er ikke husfunksjon bestemt. Det er derfor beregnet et grovt gjennomsnitt for ulike hustyper.

3.1.4 Beregning av substitusjonseffekt

På grunn av de ulike studienes ulike forutsetninger, kan man ikke direkte sammenligne data fra en studie til en annen. Studiene er således analysert hver for seg og respektive *substitusjonseffekter* som følge av økt treforbruk er beregnet.

Vi tar som utgangspunkt at de endrede klimabelastningene knyttet til de enkelte konstruksjonsalternativene kan tilskrives bruken av tre og treprodukter. Dette er langt på vei uproblematisk ettersom materialforbruket ellers er ganske ensartet.

Substitusjonseffekten, kalt E , oppgis i $kg\ CO_2\text{-ekv.} / kg\ \text{økt treinnsats}$ og framkommer ved at man beregner differansen i klimautslipp (B) per m^2 for overgang fra en løsning med mye tre til en løsning med mindre tre (innenfor en og samme studie). Man fordeler så differansen i klimagassutslipp, målt i $CO_2\text{-ekv}/m^2$, på merforbruket i tre (T), målt i kg/m^2 . Substitusjonseffekten defineres med dette som en relativ størrelse.

$$E = (B2 - B1) / (T2 - T1)$$

Substitusjonseffekten er således et uttrykk for hvor stor klimagassbesparelse man kan få pr. kg økt treforbruk.

For tunge konstruksjoner i betong og massivtre, tas det hensyn til effekt av varmelagring, se dimensjonering i Tillegg T2.2.4.

Tabellene under tar for seg et utvalg av de mest relevante studiene fra Tillegg 7 som presenterer alle studier med prosjektbeskrivelser og analyser. Relevansen er her bestemt av problemstilling, omfang (større bygningsdel eller hel bygning) og nærhet (Skandinavia). Det er substitusjonsverdiene fra disse studiene vi har valgt å gå videre med for beregning av midlere substitusjonseffekt (se figur 3.1).

3.2 Bygningsdelenes klimabelastning

3.2.1 Tak og bjelkelag

Bygningsdel	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klimabelastning [kg CO ₂ -ekv. / m ²], B	Effektvarmelagring [kg CO ₂ -ekv. / m ²]	Tre forbruk [kg /m ²], T	Substitusjonseffekt [kg CO ₂ -ekv. / kg trevirke]
Takkonstruksjon	Petersen 2002/2	Limtredragere	m ² tak 50år	7		77	
		Stål	m ² tak 50år	45		0	
Substitusjonseffekt, $E = (B2 - B1) / (T2 - T1) $: E, stål til bindingsverk: $(45-7) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 / (0-77) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{0,49} \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							0,49
Bjelkelag	Fossdal 1995/2	Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag	11		29	
		Betongdekke	m ² bjelkelag	64	-2,5	0	
E, betong til bindingsverk: $((64-2,5)-11) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 / (0-29) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{1,74} \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							1,74
Bjelkelag	Jarnehammer 1998	Massivtre	m ² bjelkelag	16	-2,5	118	
		Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag	20		29	
		Betongdekke	m ² bjelkelag	58	-2,5	8	
E, bindingsverk til massivtre $(20-(16-2,5)) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 / (29-118) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{0,07} \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							0,07
E, betong til massivtre $((58-2,5) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 - (16-2,5)) / (8-118) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{0,38} \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							0,38
E, betong til bindingsverk $((58-2,5)-20) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 / (8-29) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{1,69} \text{ CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							1,69
Bjelkelag	Petersen 1998	Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag 50 år	24		30	
		Betongdekke	m ² bjelkelag 50 år	74	-2,5	0	
E, betong til bindingsverk $((74-2,5)-24) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 / (0-30) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{1,58} \text{ CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							1,58
Bjelkelag	Noren 1999/2	Massivtre	m ² bjelkelag	16	-2,5	92	
		Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag	25		32	
E, bindingsverk til massivtre $(25-(16-2,5)) \text{ kg CO}_2\text{-ekv. / m}^2 / (32-92) \text{ kg /m}^2 = \mathbf{0,19} \text{ CO}_2\text{-ekv. / kg trevirke}$							0,19

Tabell 3.2: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av tak og bjelkelag. Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.

3.2.2 Ytter- og innervegger

Bygningsdel	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klimabelastning [kg CO ₂ -ekv. / m ²], B	Effektvarmelagring [kg CO ₂ -ekv. / m ²]	Tre forbruk [kg / m ²], T	Substitusjonseffekt [kg CO ₂ -ekv. / kg trevirke]
Yttervegg	Fossdal 1995/2	Bindingsverk trevirke	m ² vegg	8		26	
		Betong	m ² vegg	52	-2,5	12	
E, betong til bindingsverk ((52-2,5)-8) kg CO ₂ -ekv. / m ² / (12-26)kg/m ² = 2,96 CO ₂ -ekv. / kg trevirke							2,96
Yttervegg	Jarnehammer 1998	Bindingsverk m/ kvalitets sikret utv. kledning	m ² vegg 100år	10		29	
		Bindingsverk m/ utv. puss	m ² vegg 100år	19		11	
E, bindingsverk lav til bindingsverk høy (19-10) kg CO ₂ -ekv. / m ² / (11-29) kg/m ² = 0,44 CO ₂ -ekv. / kg trevirke							0,44
Innervegg	Fossdal 1995/2	Bindingsverk tre, isolert	m ² vegg	8		7	
		Stålstendere isolert	m ² vegg	10		0	
E, stål til bindingsverk (10-8) kg CO ₂ -ekv. / m ² / (0-7) kg/m ² = 0,28 CO ₂ -ekv. / kg trevirke							0,28
Innervegg	Petersen 1998	Bindingsverk tre, isolert	m ² vegg 50år	7		23	
		Stålstendere, isolert	m ² vegg 50år	16		0	
E, stål til bindingsverk (16-7) kg CO ₂ -ekv. / m ² / (0-23) kg/m ² = 0,39 CO ₂ -ekv. / kg trevirke							0,39

Tabell 3.3: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av inner- og yttervegger. Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.

3.2.3 Drøfting

Selv om kildeomfanget er noe magert kan det med rimelig stor sikkerhet slås fast at klimabelastningene for bjelkelag, yttervegger og innervegger generelt reduseres med økt bruk av tre og treprodukter.

Av tabellene kan vi også lese ut at overgang til *lette* treløsninger fra mineralske løsninger, i første rekke fra betong, gir betydelig mer uttelling i form av reduserte klimabelastninger enn overgang fra *lette* til *massive* treløsninger. Til gjengjeld er volumpotensialet i de massive løsningene betydelig større.

3.3 Bygningenes klimabelastning

3.3.1 Småhus

Bygnings- type	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klima- belastning [kg CO ₂ - ekv. / m ²], B	Effekt varme- lagring [kg CO ₂ - ekv. / m ²]	Tre for- bruk [kg / m ²], T	Substit.- effekt [kg CO ₂ - ekv. / kg trevirke]
Enebolig	Fossdal 1999/2	Tre, massiv laft	m ² BRA 50år	53	-5,3	363	
		Tre, bindingsverk	m ² BRA 50år	123		92	
E, bindingsverk til massivtre							0,27
Enebolig	Fossdal 1995	Tre bindingsverk, liten type	m ² BRA 50år	140		177	
		Lettbetong	m ² BRA 50år	278	-5,3	105	
E, Betong til bindingsverk							1,84
Enebolig	Noren 1998	Bindingsverk høyt treforbruk	m ² BRA 100år	102		171	
		Bindingsverk middels treforbruk	m ² BRA 100år	116		150	
E, bindingsverk lav til bindingsverk høy							0,67
Enebolig	Noren 1998	Bindingsverk middels treforbruk	m ² BRA 100år	116		150	
		Bindingsverk lavt treforbruk	m ² BRA 100år	137		78	
E, bindingsverk lav til bindingsverk høy							0,37

Tabell 3.5: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av småhus.

Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.

3.3.2 Boligblokker og næringsbygg

Bygnings- type	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klima- belastning [kg CO ₂ - ekv. / m ²], B	Effekt varme- lagring [kg CO ₂ - ekv. / m ²]	Tre for- bruk [kg / m ²], T	Substit.- effekt [kg CO ₂ - ekv. / kg trevirke]
Bolig- blokk	Bjørklund 1997	Tre bindingsverk	m ² BRA 50år	41		30	
		Betongelement- bygning	m ² BRA 50år	113	-4,5	0,1	
E, betong bindingsverk							2,25
Bolig- blokk	Bjørklund 1997	Tre bindingsverk	m ² BRA 50år	41		30	
		Betong in situ- bygning	m ² BRA 50år	102	-4,5	0	
E, betong til bindingsverk							1,88

Tabell 3.6: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av boligblokker og næringsbygg. Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.

3.3.3 Drøfting

Kildegrunnlaget er sparsomt, særlig for større bygninger. For næringsbygg med omfattende bruk av trevirke finnes trolig ingen dokumentasjon. For likevel å gi et visst perspektiv er en studie av henholdsvis et rent stålbygg og et rent betongbygg gjengitt i Tillegg 7,(Fossdal 1995/1).

Samtlige studier der løsninger med tre og treprodukter inngår viser reduserte klimabelastninger for tre-alternativene. Og jo mer tre desto bedre. Generelt vil substitusjonseffekten ved overgang fra lette til tunge treløsninger være lavere enn ved overgang fra tegl og betong til trekonstruksjoner.

Med bakgrunn i mer detaljerte bygningsbeskrivelser, se bibliografi Tillegg 7, kan vi også slå fast at den potensielle substitusjonsgevinsten i småhus i en etasje ofte er mindre enn om de oppføres i to og tre etasjer. En-etasjes bygninger er ofte satt direkte på støpt såle og “man går glipp av” ett eller flere trebjelkelag.

3.4 Spesifikke substitusjonseffekter

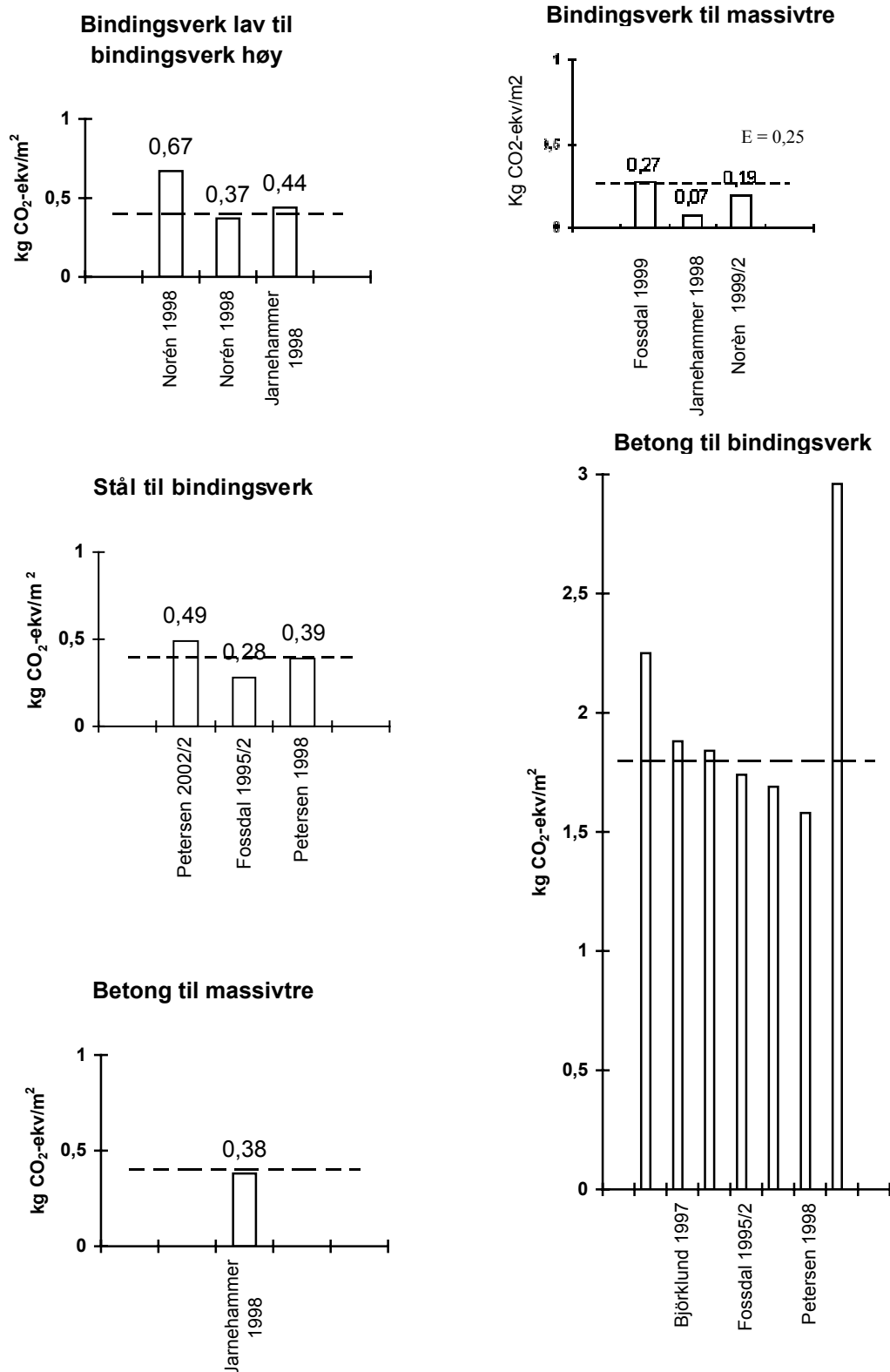
3.4.1 Bestemmelse av spesifikke substitusjonseffekter

En *spesifikk substitusjonseffekt* beskriver den *gjennomsnittlige* klimagevinsten som kan forventes per substituerende vektenhet av et materiale, i vårt tilfelle tre og treprodukter.

Med basis i et bredt utvalg av gjennomarbeidede, metodelike og representative studier vil spesifikke substitusjonseffekter trolig kunne fastslås med stor presisjon.

I vår situasjon er kildegrunnlaget mangelfullt og ofte i mer eller mindre indre konflikt. I mangel av noe annet er de viste studiene likevel benyttet som grunnlag for grov dimensjonering av spesifikke substitusjonseffekter for aktuelle materialoverganger, se grafiske framstillinger i Fig. 3.1.

Vi har bare tatt med resultater fra skandinaviske studier. På dette nivået kan alle konstruksjoner betraktes under ett. De har omtrent samme bestandighet og fornyelsesbehov i bruksfasen. Samtidig er fordelingen på konstruksjonsmaterialer, kledninger etc tilnærmedesvis det samme. De spesifikke substitusjonseffektene framkommer således som et grovt gjennomsnitt av substitusjonsverdier fra studier basert på såvel enkelte konstruksjonsdeler, som hele bygninger



Figur 3.1: Dimensjonering av spesifikke substitusjonseffekter E_s for ulike materialoverganger med utgangspunkt i utvalgte studier i Tabell 3.2 til 3.6.

Mens grunnlaget er rimelig fylldig for materialovergang fra betong til bindingsverk, vil de andre materialovergangene være svakere representert. For materialovergang fra stål til massivtre foreligger det ikke resultater i det hele tatt. Den spesifikke substitusjonseffekten er her således bare grovt stipulert med utgangspunkt i de øvrige resultatene.

Videre i rapporten tas det utgangspunkt i at et følsomhetsspenn på +/- 25% vil fange inn usikkerhetene i grunnlag og analyser når de spesifikke substitusjonseffektene dimensjoneres til:

Materialovergang	Spesifikk substitusjonseffekt E_s
Bindingsverk lavt treinnhold til bindingsverk høyt treinnhold	0,4
Bindingsverk til massivtre	0,25
Stål til bindingsverk	0,4
Betong til bindingsverk	1,8
Stål til massivtre	0,3
Betong til massivtre	0,4

Tabell 3.7 *Spesifikke substitusjonseffekter for ulike materialoverganger, basert på et snitt av beregnede substitusjonseffekter, se Figur 3.1.*

4.0 Mulig treforbruk i bygninger

4.1 Grunnlag

4.1.1 Introduksjon

For å kunne vurdere effekter av å substituere til mer tre, må vi først undersøke hvor mye tre en bygning kan inneholde. Treprodukter har mange tekniske kvaliteter og kan i utgangspunktet benyttes i alle bygningstyper og størrelser. Men på bakgrunn av trevirkets egenart er det i hovedsak to egenskaper som begrenser bruken; brennbarhet og fuktfølsomhet. Risikoen for rask nedbryting i fuktige omgivelser kan bare i liten grad avhjelpes med supplementsmaterialer. Det er altså tale om en absolutt begrensning.

Brennbarheten kan imidlertid i stor grad bøtes med kompletterende produkter. Brannkravene har stor betydning for hvor hvor mye tre som kan bygges inn i de ulike konstruksjonsdelene. Vi tar derfor utgangspunkt i brannkravene når vi kalkulerer mulig treinnhold i bygninger.

4.1.2 Inndeling i brannklasser

Byggeforskriften grupperer ulike bygningstyper i brannklasser, avhengig av funksjon, størrelse og utforming. Med brannklassene som bakgrunn, stiller forskriften krav til minste brannmotstand i overflater, kledninger og bygningsdeler.

Risiko klasse	Virksomhet	1 etasje	2 etasjer	3 og 4 etasjer	5 eller flere etasjer
1	Arbeidsbrakke, båtnaust, carport, driftsbygning i landbruket, flyhangar, fryselager, garasje, sagbruk, skur, trelastopplag	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	Trafo, industri, kjemisk fabrikk, kontor, laboratorium, lager, parkeringshus over 2 etg., sprengstoffindustri	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	Barnehage, skole	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	Barnehjem, bolig, boligbrakke, fritidsbolig, internat, selvbetjente hytter, studentbolig	BKL 1	BKL1	BKL 2	BKL 3
5	Forsamlingslokale, Idrettshall, kinolokale, kirke, kongressenter, messelokale, museum, salgslokale, teaterlokale, trafikkterminal, tribuneanlegg	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	Arrestlokaler, bolig for funksjonshemmede, fengsel, feriekoloni, overnattingssted, pleieinstitusjon, psykiatrisk pleieinstitusjon, turisthytte/vandrehjem	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Tabell 4.1: Brannklasser for forskjellige virksomheter og etasjeantall, etter Byggeforskrift 1997.

I prinsippet kan treprodukter benyttes i alle bygningstyper, men med tiltagende begrensninger oppover i brannklassene. Innbrenningshastigheten i trevirke er langsom og et stykke på vei vil dette derfor kunne kompenseres med stadig mer massive treløsninger. Men massive løsninger vil samtidig representere et betydelig energiinnhold (brannlast) som vil kunne forverre brannforløpet ved overtenning. Bruk av kompletterende brannfaste plateprodukter er

således vanskelig å unngå i bygningsdeler i de to øvre brannklassene. Også anlegging av sentralt sprinkleranlegg kan benyttes som teknisk kompensasjon.

4.2 Konstruksjoner av tre

4.2.1 Lette kontra massive konstruksjoner

Vi kan grovt dele inn trekonstruksjoner i lette og massive konstruksjoner. I praksis vil det ofte være snakk om å kombinere løsningene.

Lette trekonstruksjoner er vanligvis oppført som varmeisolert bindingsverk med stendere i vegger og lette bjelkelag i etasjeskiller og tak. Rene massivtrekonstruksjoner er utstyrt med massive treelementer i bjelkelag og vegger. Også løsninger for tak finnes. Behovet for ekstra varmeisolasjon er redusert og i noen grad unngått⁴ som følge av konstruksjonens oppbygging og trevirkets egne varmeisolerende egenskaper.

Treforbruket vil naturlig nok være av størst betydning i bygningens konstruktive bygningsdeler, men også bruk i lettvegger, vinduer, dører og trapper vil kunne representere betydelige volumer.

Vi vil i de følgende delkapitlene gjennomgå de viktigste bygningsdelene. I første rekke ser vi på de branntekniske forutsetningene for bruk av trealternativer. Dette er gjort på et overordnet og generelt nivå uten detaljering for rømningsveier, trappeløp, leilighetsskiller etc. Som kildegrunnlag er blant annet benyttet *Veiledning til Teknisk Forskrift 1997*, (IM 2002), (Österman 2002) og (Gloslie 2003)

4.2.2 Tak

I BKL1 vil kravet til brannmotstand være B30, og tak kan således i sin helhet kunne utføres i tre og trebaserte materialer. Dette inkluderer tekking med bord, spon eller stikker så sant faren for smittebrann er liten. Det tas forbehold for bruk av trebasert varmeisolasjon som i noen tilfeller vil få krav om ubrennbar underkledning.

I BKL2 og BKL3 vil takkonstruksjonen oftest oppfattes som sekundært bærende bygningsdel og kravene til brannmotstand er R60. Dette innebærer at lette trekonstruksjoner kan benyttes, men innekket med to lag gips på undersiden og ubrennbar isolasjon. Massive konstruksjoner over 140mm takler i utgangspunktet R60-kravet uten supplerende materialer, men vi må anta at den økte brannlasten knyttet til massivtre, raskt vil kreve underdekning av gips som for lette konstruksjoner.

4.2.3 Etasjeskiller

I BKL1 er kravet om brannmotstand R30. Dette innebærer at treprodukter generelt kan benyttes i alle sjikt. Det tas et forbehold for bruk av trebasert varmeisolasjon som i noen tilfeller vil få krav om ubrennbar underkledning.

⁴Veggelementer av korslagte og dyblede plank har dokumentert innekkning av U-verdi 0,22 med tykkelse 350mm, (Holz 100)

I BKL2 vil kravene til brannmotstand være R60. Dette innebærer at lette bjelkelagskonstruksjoner må inndekkes på undersiden med 2 lag gips og isoleres med ubrennbar isolasjon. Massive trebjelkelag takler i utgangspunktet R60-kravet uten supplerende materialer, men vi må anta at den økte brannlasten knyttet til massivtre i de fleste tilfeller vil kreve underkledning av 2 lag gips som for lette konstruksjoner. I BKL2 kan alle typer tregolv benyttes samt trepanel i himling.

I BKL3 er vil kravet til brannmotstand i etasjeskillet også være R60 og kan utføres som i BKL2 så sant det ikke regnes til bygningens bærende hovedsystem. Da kreves R90 som er vanskelig å utføre med trekonstruksjoner. Her kan imidlertid fortsatt tregolv benyttes. Som himling kan trepanel benyttes innen brannceller under 200 m².

4.2.4 Innervegger

For innervegger i BKL1 vil krav til brannmotstand være B30 som innebærer at trebaserte kan benyttes i alle sjikt.

I BKL 2 vil krav til *bærende* innervegger være R60 som innebærer at lette trekonstruksjoner må innkles med gipsplater på begge sider og isoleres med ubrennbar isolasjon. Overflate kan være trepanel eller andre treprodukter med unntak av porøse plater. For massive konstruksjoner vil kravene i prinsippet oppfylles med uinndekket massivtre på 175 mm eller i tykkelse 110 mm i kombinasjon med gipsplate, men vi må anta at den økte brannlasten knyttet til massivtre i mange tilfeller vil kreve 2-sidig inndekking med gips.

I BKL 3 vil kravet til *bærende* innervegger normalt være R90 som innebærer innkledning med 2 lag gips på begge sider i en lett trekonstruksjon. Isolasjon med steinull. Vi må anta at massive konstruksjoner også vil kreve 2-sidig gipsinndekking. Internt i brannceller inntil 200 m² kan det benyttes overflater av trepanel eller treprodukter med unntak av porøse plater.

4.2.5 Yttervegger

For yttervegger i BKL1 vil brannkravet være B30. Dette innebærer at treprodukter generelt kan benyttes i alle sjikt. Det tas et forbehold for bruk av trebasert varmeisolasjon der det i noen tilfeller vil stilles krav om ubrennbar inndekking. For massive konstruksjoner over 370mm kan behovet for ekstra varmeisolasjon elimineres.

I BKL2 vil kravet til brannmotstand være B60. For lette trekonstruksjoner kan dette oppfylles med to platelag på veggens innside hvorav det ytterste er av gips og det andre kan være finer- eller sponplate. Varmeisolasjon med ubrennbar isolasjon. Massive konstruksjoner kan i prinsippet oppføres med tykkelse min. 175mm uten inndekking, men med forbehold om tilleggskrav som følge av den økte brannlasten knyttet til massivtre. B60-kravet dekkes også inn med 110mm massivtre med et lag gips på innside. Spesielle massivkonstruksjoner over 370mm trenger trolig ikke ekstra varmeisolasjon. Som innvendig overflate kan trepanel eller andre treprodukter benyttes med unntak av porøse fiberplater. Som utvendig kledning er trepanel aktuelt, men det må være brannimpregnerert hvis ikke veggen er utstyrt med automatisk vinduslukning, redusert vindusareal eller avbruddsfelt i kledningssjiktet.

I BKL3 vil kravet være B90 og det er nødvendig med 2 lag gips på innside av såvel lette som massive konstruksjoner, samt ubrennbar isolasjon. Innvendig trepanel kan benyttes som overflate i brannceller under 200m² og utvendig trepanel på samme måte som i BKL2.

4.2.6 Vinduer, dører og trapper

Vinduer av tre kan benyttes i alle brannklasser.

I BKL1 kan det gjennomgående benyttes heltredører. I BKL2 er dette også mulig internt i brannceller. For BKL1 kan heltredører benyttes internt i brannceller under 200 m².

Tretrapper kan benyttes i alle sammenhenger i BKL1 og trolig også internt i brannceller i BKL2.

4.3 Treforbruk i bygninger

4.3.1 Mulig treinnhold i bygningsdeler

Med bakgrunn i kapittel 4.2, kan vi kalkulere mulig treinnhold i tak, etasjeskiller og vegger for ulike brannklasser, se Tabell 4.2. Alle trebaserte produkter er medtatt. For heltreprodukter er det tatt utgangspunkt i materialvekt 550 kg per m³ og for trebasert varmeisolasjon 35kg treandel per m³.

Tak:

For massive elementer i tak er det kalkulert med tykkelse 180mm. For BKL 1 er det i tillegg medtatt trebasert isolasjon i hht forskriftskrav.

Det lette taket er forutsatt utført med bjelkelag 250mm og CC600. I tillegg kommer i alle brannklasser panelt himling, vindtetting i trebasert plate, undertak av trebord og oppføring, lekter/sløyfer av tre. I Brannklasse 1 kommer i ytterligere tillegg trebasert varmeisolasjon og takteking av bord eller spon, (se 4.2.2)

Etasjeskiller:

For massive elementer i etasjeskiller er det kalkulert med tykkelse 180mm. I BKL1 er massivtreløsninger ikke innkledd utover nødvendig standard. I øvrige brannklasser er medregnet bordgolv og plateinndekking.

Basis tykkelse for tregolv i den lette konstruksjonen er 22 mm.

Yttervegger:

Massive ytterveggelementer i BKL1 er satt til 370mm og i BKL2 og BKL3 til 175mm. For BKL 1 kommer i tillegg trebasert isolasjon.

For lette konstruksjoner er veggtykkelse som inneholder gjeldende krav til varmeisolasjon benyttet, og utvendig panel er satt til 22mm.

Innervegger:

For massivtrekonstruksjonen er innervegger satt til 120 mm. For lette konstruksjoner er innvendig panel 12mm.

Bygningsdel	BKL1 lett [kg / m ²]	BKL1 tung [kg / m ²]	BKL2 lett [kg / m ²]	BKL2 tung [kg / m ²]	BKL3 lett [kg / m ²]	BKL3 tung [kg / m ²]
Tak	60 (250 mm)	140 (180 mm)	30 (250 mm)	110 (180 mm)	30 (250 mm)	110 (180 mm)
Etasjeskiller	40 (200 mm)	110 (180 mm)	40 (200 mm)	130 (180 mm)	40(s)/15(p) (200 mm)	130(s)/15(p) (180 mm)
Innervegger	25 (100 mm)	65 (120 mm)	25 (100 mm)	75 (120 mm)	25 (100 mm)	75 (120 mm)
Yttervegger	45 (200 mm)	230 (370 mm)	35 (200 mm)	115 (175 mm)	35 (200 mm)	115 (175 mm)

Tabell 4.2. Grovt overslag over mulig innhold av tre og treprodukter i vitale bygningsdeler i lette og tunge konstruksjoner i ulike brannklasser. I parantes er angitt konstruksjonstykkelse. Etasjeskiller i BKL3 er oppgitt for henholdsvis (s) sekundær- og (p) primærkonstruksjon.

4.3.2 Mulig treinnhold i bygninger

For å kunne vurdere potensiell økning for hele bygninger, må vi se på på mulig treinnhold per arealenhet (BRA) innen de ulike brannklassene, se Tabell 4.3.

I småhus vil arealene av bjelkelag, yttervegg og innervegg være tilnærmedesvis like store. Vi kan grovt anslå at dette også vil gjelde for større bygninger selv om arealet av innervegg her gjerne er noe større på bekostning av redusert yttervegg. I tillegg kommer taket. Takets andel er i første rekke bestemt av antall etasjer i bygningen. Med utgangspunkt i Tabell 4.1 kan vi grovt sette:

BKL1= 2 etasjer, som innebærer at takets areal blir ca. 50% av bjelkelagene.

BKL2 = 3 etasjer, som innebærer at takets areal blir ca. 33% av bjelkelagene.

BKL3 = 6 etasjer, som innebærer at takets areal blir ca. 16% av bjelkelagene.

Åpninger for dører, vinduer, trapper og lignende kalkuleres grovt med samme treinnhold som bygningsdelene.

I tillegg til bygningens hoved-bygningsdeler legges det inn en diverse-post som omfatter balkonger, faste innredninger, kanaler, spesialsjikt for lyd demning og akustikk, uteboder som alle for en stor del kan utføres i trevirke. Denne posten kalkuleres grovt til rund sum 20kg per m² BRA.

Bygningsdel	BKL 1 lett [kg/m ² BRA]	BKL 1 tung [kg/m ² BRA]	BKL 2 lett [kg/m ² BRA]	BKL 2 tung [kg/m ² BRA]	BKL 3 lett [kg/m ² BRA]	BKL 3 tung [kg/m ² BRA]
Tak	30 (50%)	70 (50%)	10 (33%)	35 (33%)	5 (16%)	20 (16%)
Etasjeskiller	40	110	40	130	25	70
Innervegger	25	65	25	75	25	75
Yttervegger	45	230	35	115	35	115
Diverse	20	20	20	20	20	20
SUM	160	495	130	375	110	300

Tabell 4.3: Grovt overslag over mulig innhold av tre og treprodukter per m² bruksareal (BRA) i lette og tunge konstruksjoner i ulike brannklasser. Beregningene er basert på bygningsdelstabellen, tabell 4.2. I parantes er angitt hvor stor andel av bygningsdelen som belastes per m² BRA. (Etasjeskiller i BKL3 er oppgitt som middelerdi mellom sekundær- og primærkonstruksjon.)

4.3.3 Mulig treforbruk

For å kunne slå fast treforbruket må vi i tillegg til treinnholdet legge inn svinn, kapp og utskiftinger gjennom bygningenes levetid. I Skandinavia er det vanlig å dimensjonere med en levetid for bygninger på 50 år, og det tas utgangspunkt i at hovedkonstruksjonen forblir inntakt gjennom denne perioden. De andre bygningsdelene vil i større grad være utsatt for slitasje, og vedlikehold og utskiftinger må påregnes.

Det er vanlig å anslå materialforbruket i driftsfasen til ca. 10% av totalvekten i bygninger oppført i lette konstruksjoner (Winter 1998). For bygninger oppført i tunge konstruksjoner vil andelen være lavere, og i mengde trolig tilsvarende som i lette konstruksjoner. Vi skal være oppmerksom på at materialforbruk til ombygginger, tilpasninger etc. ikke er tatt med. Dette er trolig stort, men vanskelig å beregne.

Svinn og kapp i produksjon og driftsfasen kan grovt anslås til 3-5% (Fossdal 1995). For prefabrikerte løsninger vil dette være mindre og ned mot 0,5% i bygninger basert på prefabrikerte elementer (Berge 1996). Svinn og kapp vil selvsagt også variere noe mellom materialtypene, men som generell retningslinje tas det utgangspunkt i en andel på 4%.

	BKL 1 lett [kg/m ² BRA 50 år]	BKL 1 tung [kg/m ² BRA 50 år]	BKL 2 lett [kg/m ² BRA 50 år]	BKL 2 tung [kg/m ² BRA 50 år]	BKL 3 lett [kg/m ² BRA 50 år]	BKL 3 tung [kg/m ² BRA 50 år]
Treinnhold	160	495	130	375	110	300
Utskiftinger	~15	~15	~10	~15	~10	~10
Svinn/kapp	~10	~20	~5	~15	~5	~10
SUM	185	530	145	405	125	320

Tabell 4.4: Grovt overslag over maksimalt treforbruk per m² bruksareal (BRA) i lette og tunge konstruksjoner. Basistall for de ulike bygningsdelene er basert på tabell 4.3.

5.0 Scenarier middels og høy økning i treforbruket

5.1 Grunnlag

5.1.1 Introduksjon

Det er tatt sikte på å vise klimamessig potensiale ved at tre og treprodukter substituerer andre materialer i norske *nybygg*. Det er sett på betydningen av henholdsvis en *middels økning* og en *høy økning* i treforbruket.

Middels økning i treforbruket dimensjoneres til nivå 40% av *tung løsning* etter Tabell 4.4. Det vil si at hver bygning i snitt får en økning av treinnhold til et nivå tilsvarende 40% av en full massivtre-løsning. *Middels økning* innebærer tiltak innen formodentlig realistiske rammer, men likevel med betydelig endring i byggemåter, blant annet med stor vekt på massivtre.

Høy økning i treforbruket dimensjoneres til nivå 80% av *tung løsning* etter Tabell 4.4. Det vil si at hver bygning i snitt får en økning av treinnhold til et nivå tilsvarende 80% av en full massivtre-løsning. *Høy økning* representerer et antatt praktisk maksimum for bruk av tre i nybygg.

Økning av treforbruket vil skje på ulike måter. Det er tatt utgangspunkt i at 10% av økningen skjer til lette løsninger, dvs bindingsverk, og 90% til massivtre-løsninger.

Det presenteres to grunnlagsscenarier, henholdsvis med og uten avfallsbehandling inkludert. Deretter undersøkes aktuelle forbedringstiltak innen trebransjen med optimalisering av produksjonsprosesser, transportforhold og betingelser for energigjenvinning, samt økt vekt på gjenbruk, og legger dette inn i grunnlagsscenariene.

En nærmere utprøving av antatt følsomhets-spenn er først gjennomført som del av de avsluttende samlescenariene i avsnitt 5.5.

Sist i kapitlet vil substitusjonseffekten vurderes i lys av de norske Kyotoforpliktelsene.

5.1.2 Forutsetninger

Scenariene forholder seg til et årskull av nybygg dimensjonert til bruksarealet BRA av ferdigstilte bygg i 2001, fordelt på hustypene *Småhusboliger*, *Boligblokker*, *Næringsbygg* og *Andre bygg*, med utgangspunkt i Byggearealstatistikken fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). *Småhusboliger* omfatter alle boligtyper utenom boligblokk. *Næringsbygg* omfatter alle andre bygningstyper med unntak av fritidsbygninger, boliggarasjer o.l. som utgjør gruppen *Andre bygg*.

Byggearealstatistikken fra SSB innbefatter med få unntak alle nybygg, tilbygg og påbygg med minst 30 m² nybygd bruksareal BRA. I tillegg er alle nybygg under 30 m² som inneholder selvstendig boenhet medtatt.

Valg av materialoverganger i scenariene er ikke uproblematisk. Utgangspunktet vil være at stål- og betongløsninger substitueres til trevirke. Men om dette skjer ved overgang til lette eller massive løsninger er vanskelig å anslå. Mye taler for at massivtre kommer kraftig på banen i de nærmeste år. Det er også her det aller meste av potensialet for økt treforbruk ligger. Overgang til bindingsverk skjer innen sterkt avgrensede intervaller, og det samlede potensialet er relativt lavt og adskillig mindre enn for massivtre. For scenariene med såvel middels som høy økning i treforbruket legges det som nevnt til grunn at 10% skjer ved overgang til lette treløsninger og 90% til massivtre.

5.1.3 Treforbruk i norske nybygg

Treforbruket i Norge er ca. 0,5 kubm per innbygger, mens gjennomsnittet i Europa er ca. 0,14 kubm. Byggenæringen står for betydelige andeler, men forbruket til nybygg er adskillig lavere enn for områdene rehabilitering og ombygging (Jakobsen 2001).

I Tyskland er treforbruket i småhus beregnet til ca. 25 kg per m² og for boligblokker ca. halvparten (Scharai-Rad 1999).

Tallmaterialet for den norske bygningsmassen er sparsomt. I rapport 1831/2001 fra Statens Forurensningstilsyn (Flugsrud 2001) er det oppgitt følgende grove gjennomsnittstall for nye bygninger basert på data fra NBI:

<i>Småhusboliger</i>	<i>150 kg trevirke per m²</i>
<i>Boligblokker</i>	<i>15 kg trevirke per m²</i>
<i>Næringsbygg⁵</i>	<i>17,5 kg trevirke per m²</i>

I kilden oppgis dette som bygningens treinnhold til enhver tid, men det er grunn til å anta at det dreier seg om samlet treforbruk over livsløpet, inkl. svinn, utskiftninger m.m. Dette underbygges i (Winter 1997) der forbruket av trevirke over livsløpet i konvensjonelle norske rekkehus varierer fra 76 til 130kg per m². I (Fossdal 1995) varierer treforbruket over livsløpet i eneboliger fra 98 til 130kg per m².

I mangel av noe annet vil tallene i (Flugsrud 2001) benyttes som basis for scenariene, men altså som samlet treforbruk over et livsløp på 50 år.

For andre bygg, i første rekke fritidsboliger og boliggarasjer, stipuleres:

<i>Andre bygg</i>	<i>100 kg trevirke per m²</i>
-------------------	--

5.1.4 Fordeling av materialer i de ulike konstruksjonstypene

Det er altså en klar tendens til at små boliger i stor grad oppføres i tre, mens andre bygningstyper i adskillig større grad benytter seg av mineralske materialalternativer. I Byggearealstatistikkene fra SSB er hovedmaterialene i bærekonstruksjoner i nybygg registrert, se Tabell 5.1. Her framkommer et mer nyansert bilde, blant annet ved at også en betydelig andel av næringsbyggene viser seg å være oppført i tre. Dette rokker en smule ved anslagene for treforbruk i ulike bygningstyper i forrige avsnitt, ved at treforbruket for boliger ser ut til å ligge lavere og for næringsbygg tildels adskillig høyere. Men dette er likevel ikke grunnlag godt nok for en alternativ kalkyle.

⁵I kilden er dette oppgitt som "Andre bygg", men i teksten framgår det at det dreier seg om næringsbygg.

Hustype	v-Tre [%]	h-Tre [%]	m-Tre [%]	v-Betong [%]	h-Betong [%]	m-Betong [%]	v-Metall [%]	h-Metall [%]	m-Metall [%]
Småhusboliger	90	91	91	10	9	9	0	0	0
Boligblokk	20	17	18	77	82	80	3	1	2
Næringsbygg	25	26	25	47	53	50	28	21	25
Andre	91	93	92	8	7	7	1	0	1

Tabell 5.1: Prosentvis fordeling av nybygd bruksareal (BRA) med ulike vertikale (v) og horisontale (h) bærekonstruksjoner over fundament, basert på Byggearealstatistikk 2001 "Bygg satt igang" fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Lettbetong og tegl er slått sammen med betong. I (m)-spalten angis ca. middelvei.

Tallene i tabell 5.1 benyttes ikke videre som grunnlag for å beregne treforbruk i nybygg. Tabellen benyttes imidlertid for beregning av midlere spesifikk substitusjonseffekt for ulike bygningstyper (tabell 5.2).

5.1.5 Samlet scenariegrunnlag

Vi tar utgangspunkt i tabell 5.1 for å finne fram til hvilke materialer vi skal substituere i de enkelte bygningstypene. Som nevnt antas det at økningen av treforbruket vil skje på ulike måter. For 10% av overgangen substitueres det med lette løsninger (bindingsverk) og for 90% med massive løsninger. Med utgangspunkt i dette brukes tabell 3.7 som grunnlag for beregning av midlere spesifikke substitusjonseffekter for ulike bygningstyper, se tabell 5.2..

For næringsbygg vil beregningen av **midlere spesifikke substitusjonseffekt, E_{sm}** , f.eks. bli følgende:

$$0,1 [(0,25 \times E(\text{bind.verk lav til bind.verk høy}) + 0,5 \times E(\text{betong til bindingsverk}) + 0,25 \times 0,4 (\text{stål til bindingsverk})] + 0,9 [(0,25 \times E(\text{bind.verk til massivtre}) + 0,5 \times E(\text{betong til massivtre}) + 0,25 \times E(\text{stål til massivtre})]=$$

$$0,1[0,25 \times 0,4 + 0,5 \times 1,8 + 0,25 \times 0,4] + 0,9 [0,25 \times 0,25 + 0,5 \times 0,4 + 0,25 \times 0,3] = 0,41 \sim 0,4$$

Hustype	Midlere spes. subst. effekt [kg CO ₂ -ekv./kg], E_{sm}
Småhusboliger	0,3
Boligblokker	0,5
Næringsbygg	0,4
Andre	0,3

Tabell 5.2 Midlere spesifikke substitusjonseffekter for ulike bygningstyper

I tabell 5.3 kalkuleres økningene i treforbruk ved henholdsvis middels og høy økning for de ulike bygningstypene. Tabell 4.4 indikerer mulig treforbruk i ulike bygningsbrannklasser. I scenariene vil vi plassere *Små boliger* og *Andre bygg* i BKL1. For *Boligblokker* og *Næringsbygg* er det aktuelt å benytte BKL2 som et gjennomsnitt. Endel av disse vil være oppført i BKL1, men trolig ikke i større omfang enn det som er oppført i BKL3, se SSB Byggearealstatistikk 2001.

Hustype	Eksist. gj.sn. treforbruk [kg/ m ² BRA],	Mulig treforbruk tung konstruksjon [kg/ m ² BRA], (fra tab. 4.4)	MT: Tillegg treforbruk ved middels økning (40%), [kg/ m ² BRA]	HT: Tillegg treforbruk ved høy økning (80%) [kg/ m ² BRA]
	A	B	Mt=(Bx40%)-A	Ht=(Bx80%)-A
Småhusboliger	150	530	62	274
Boligblokker	15	405	147	309
Næringsbygg	17,5	405	144,5	306,5
Andre	100	530	112	324

Tabell 5.3: Tillegg treforbruk ved scenariene middels økning (MT) og høy økning (HT) for de ulike bygningstypene, oppgitt i spesifikke økninger Mt og Ht.

5.2 Basisscenario uten avfallsfase

5.2.1 Resultater

I dette basis-scenariet er systemgrensen trukket før avfallsbehandling. Ellers er utgangspunktet at trevirket produseres på konvensjonelt vis.

Resultatspaltene i tabellene viser redusert belastning gjennom livsløpet på 50 år. Vi skal imidlertid være oppmerksom på at det aller meste av dette er produksjonsrelatert og hentes ut allerede i byggefasen.

Hustype	Areale per årskull [1000m ² BRA]	MT: Vekst i treforbruk [tonn]	MT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv 50 år]	HT: Vekst i treforbruk [tonn]	HT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv 50 år]
	X	X x Mt	X x Mt x E_{sm}	X x Ht	X x Ht x E_{sm}
Småhusboliger	2 700	167 400	50 220	739 800	221 940
Boligblokker	590	86 730	43 365	182 310	91 155
Næringsbygg	2 800	404 600	161 840	858 200	343 280
Andre (hytter /garasjer)	900	100 800	30 240	291 600	87 480
Totalt	6 990	759 530	285 665	2 071 910	743 855

Tabell 5.4 : Redusert klimabelastning ved scenariene middels økning (MT) og høy økning (HT) i treforbruk over 50 år. Avfallsbehandling er ikke medregnet.

5.3 Basisscenario med avfallsfase

5.3.1 Introduksjon

Avfall forekommer gjennom hele livsløpet som svinn i byggefase, ved utskifting i bruksfase og ved riving. Byggenæringen i Norge representerer en samlet avfallsmengde for tre og treprodukter på ca. 230- 240 000 tonn per år, ekskl. produksjonsspill. Per 2001 ble ca. 42% energigjenvunnet og resten deponert. Bransjen har som målsetting å redusere andelen til deponi til 20% innen 2005 (LBN 2001).

I Danmark og Sverige er deponering av treavfall nærmest eliminert, og det er overveiende sansynlig at dette på sikt også vil bli situasjonen i Norge. Deponering av treavfall med påfølgende nedbryting til metangass er således ikke nærmere problematisert i prosjektet.

Rivningsavfall kan også gjenbrukes eller materialgjenvinnes. Det er generelt liten klimagevinst å hente på materialgjenvinning av trevirke (Kram 2001). Potensialet er adskillig større ved gjenbruk. Avfallsbehandling til gjenbruk er imidlertid et marginalt fenomen per idag, og er behandlet under forbedringstiltak i Avsnitt 5.4.5. For basisscenariet er energigjenvinning av treavfall mest relevant.

Resultatspaltene i tabellene viser redusert belastning gjennom livsløpet på 50 år. Livsløpsperspektivet er her mer relevant enn for foregående basisscenarier uten avfallsfase ettersom klimakonsekvensene av avfallsfasen kan være betydelige.

5.3.2 Resultater

Treavfall har en effektiv brennverdi på ca. 2,5 kWh per kg, se Tillegg 2. Dermed kan en anseelig klimagevinst hentes inn ved at annen energiproduksjon erstattes. Betydningen av energigjenvinning er dels avhengig av energibærerne som erstattes dels av de transportmessige klimagassutslippene fram til forbrenningsovnen. Også tilstanden på rivningsavfallet vil kunne være utslagsgivende.

Som basis for å vurdere substitusjonseffekten er det naturlig å ta utgangspunkt i en klimabelastning på 0,1 kg CO₂-ekv. per kWh som avspeiler fordelingen i det norske kraftmarkedet med 70% fra vannkraft og 30% fra fossile energikilder, se Tillegg 2.

Substitusjonseffekten for energigjenvinning, E_{avfall} , blir da:
 $2,5 \text{ kWh per kg tre} \times 0,1 \text{ kg CO}_2\text{-ekv. per kWh} = 0,25 \text{ kg CO}_2\text{-ekv per kg tre.}$

Transportbehovet er i stor grad bestemt av renheten på avfallet. Impregnerte treprodukter vil være mindre aktuelle for energigjenvinning på vanlige biobrenselanlegg p.g.a giftige avgassinger eller redusert brennverdi (Esser 2001). Per idag er eneste avtager av slike produkter sementindustrien. Transport med lastebil over 150km innebærer kjapt at vinninga gå opp i spinninga. Etter denne distansen har substitusjonsgevinsten blitt innhentet av klimagassutslippene fra dieseldriften, se tabeller i Tillegg 2. Vi må regne med at dette snarere er regelen enn unntaket når transporten går til en av Norges to sementfabrikker.

Foreløpig har det vært tillatt å forbrenne annet treavfall på et av landets 400-500 vanlige biobrenselanlegg. Men ved innføring av EU's Forbrenningsdirektiv fra 2006 vil også limte og malte produkter samt blandingsavfall kreve spesialforbrenning med røykgassrensing. Per 2002 var det 12 slike anlegg i drift i Norge og uten kraftig utbygging vil den praktiske substitusjonseffekten av energigjenvinning raskt bli liten. Rent treavfall, gjerne med spiker, bolter o.l. kan imidlertid fortsatt brennes i konvensjonelle biobrenselanlegg.

I basisscenariet er det tatt utgangspunkt i at 50% av treavfallet blir effektivt energigjenvunnet med substitusjonseffekt 0,25 kg CO₂-ekv. per kg. Dette er en lav andel i forhold til det som kan forventes om noen år, men har samtidig bakt inn i seg redusert effektivitet som følge av forurenset virke og lange transportveier.

Hustype	Areale per årskull [1000m ² BRA]	MT: Vekst i treforbruk [tonn]	MT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv 50 år]	HT: Vekst i treforbruk [tonn]	HT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv 50 år]
	X	$X x Mt$	$(X x Mt x E_{sm}) + (X x Mt x E_{avfall} x 0,5)$	$X x Ht$	$(X x Ht x E_{sm}) + (X x Mt x E_{avfall} x 0,5)$
Småhusboliger	2 700	167 400	71 145	739 800	314 415
Boligblokker	590	86 730	54 206	182 310	113 944
Næringsbygg	2 800	404 600	212 415	858 200	450 555
Hytter/garasje r	900	100 800	42 840	291 600	123 930
Totalt	6 990	759 530	380 606	2 071 910	1 002 844

Tabell 5.5 : Redusert klimabelastning ved scenariene middels økning (MT) og høy økning (HT) i treforbruk over 50 år. Avfallsbehandling med energigjenvinning medregnet.

5.4 Forbedringstiltak gjennom livsløpet

5.4.1 Introduksjon

Basisscenariene er basert på konvensjonelle produksjonsmåter, driftsrutiner og avfallsaktiviteter. Innen alle disse fasene kan det gjennomføres tiltak som reduserer klimabelastningene forbundet med bruk av tre og således øke substitusjonseffekten i forhold til andre materialer. Vi vil her se på potensialer knyttet til:

- Redusert bruk av fossil energi i produksjonsfasen
- Reduserte transportbehov og omlegging til mindre belastende transportmåter
- Økt holdbarhet for slitasjeutsatte bygningsdeler
- Økt gjenbruk i avfallsfasen
- Mer effektiv energigjenvinning

Treproduktene i seg selv vil selvsagt også kunne forbedres. Dette innebærer i første rekke at omfanget av tilsetninger og materialkombinasjoner som trekker klimagassutslippene opp, reduseres. Et eksempel kan være trelementer der det benyttes dybling med treplugg framfor liming. Dette er imidlertid ikke nærmere behandlet her, men noen generelle indikasjoner kan hentes ut av Tillegg 5.

5.4.2 Redusert bruk av fossil energi i produksjonsfasen

Maskineringsgraden i primærproduksjonen av trelast har vært i kraftig vekst gjennom mange år. Dette har for en stor del skjedd med enkel teknologi basert på fossile energikilder og der effektutnyttelsen er dårlig. Utover biobrensel er fornybare energikilder sparsomt utnyttet eksempelvis i tørkeprosesser. Og effektive energibærere som trykkluft og elektrisitet i hogst og uttransportering er lite utviklet.

De klimamessige innsparingsmulighetene knytter seg i første rekke til redusert forbruk av fossile energikilder, og det er i tiltaksoversikten i Tabell 5.6 angitt potensialer med henholdsvis moderat og maksimal tiltaksprofil. Formodet konvensjonell teknologibruk er angitt i kursiv og alternativene som nivåer der konkretiseringene ikke må tas bokstavelig, men som uttrykk for belastningsgrad.

Teknologialternativer	Reduksjon moderate tiltak [kgCO₂-ekv./ tonn trelast]	Reduksjon maksimale tiltak [kgCO₂-ekv./ tonn trelast]
<i>Tømmerdrift, konvensjonell drift</i>		
- Hogst, nivå som motorsag	2	
- Hogst, nivå som håndsag eller lignende		7
- Utfrakting, nivå som lassbærer	3	
- Utfrakting, nivå som hest eller lignende		12
<i>Transport til sagbruk med dieselbil 45km</i>		
- Nivå som dieseltransport/ elektrisk tog 50%/50%	3	
- Nivå som mobilt eller lokalt sagbruk eller eldrevet tog/bil 100%		6
<i>Barking og saging, elektrisk,</i>		
- Nivå som direkte vannkraft		1
<i>Tørking, konvensjonell drift</i>		
- Nivå som tørking 100% med biobrensel eller soltørke	15	
- Nivå som utetørking		16
<i>Justering, elektrisk m/ Norsk kraft</i>		
- Nivå som ingen justering eller direkte vannkraft		1
SUM MULIGE INNSPARINGER	23	43

Tabell 5.6: Spesifikke potensialer for reduserte klimabelastninger i trelastproduksjonen, basert på bl.a. (Petersen 2002/2) og (Fossdal 1995).

I konvensjonell produksjon vil klimabelastningene knyttet til trelast utgjøre ca. 40-45 kg CO₂-ekv. per tonn, se Tillegg 5. I det moderate scenariet er disse redusert med mer en 50% og i max.-scenariet helt eliminert.

Tiltaksnivåer	MT: Redusert klimabelastning [tonn CO₂-ekv. 50år]	HT: Redusert klimabelastning [tonn CO₂-ekv. 50år]
Reduksjon moderate tiltak (23 kg CO ₂ -ekv./ tonn trelast)	17 469	47 654
Reduksjon maksimale tiltak (43 kg CO ₂ -ekv./ tonn trelast)	32 660	89 092

Tabell 5.7: Reduserte klimabelastninger ved redusert bruk av fossil energi i produksjonsfasen på to tiltaksnivåer for scenariene middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruk, (basert på vekst treforbruk fra fra tab. 5.4).

5.4.3 Reduserte transportbelastninger

I Norge er den trebearbeidende industrien spredt over hele landet med tyngdepunkt i skogstrøkene på Østlandet og i Trøndelag. Treforedlingsindustrien finnes hovedsaklig langs kysten i Oslofjorden og i Nord-Trøndelag.

Gjennomsnittlig transportavstand til byggeplass var i 1995 ca. 200km for trelast i all hovedsak med dieselbil og klimabelastningene således 24 kg CO₂-ekv. per tonn (Fossdal 1995).

I første rekke vil reduserte transportavstander være utslagsgivende, men dette innebærer dramatiske strukturendringer som er lite relevante å ta i betraktning i denne omgang. Også overgang til større lastebiler vil gi lavere utslipp per tonn og kilometer. Men her er den norske veistandarden raskt et hinder. Mest aktuelt, om enn fortsatt med en smule

framtidsperspektiv, er overgang til togtransport på de lange distansene, samt satsing på biler basert på elektrisk drift, biogass o.l.

Det er skissert to tiltaksmodeller med henholdsvis mer togtransport og overgang til mer miljøvennlig veitransport.

Teknologialternativer	Reduksjon moderate tiltak [kgCO ₂ -ekv./ tonn trelast]	Reduksjon maksimale tiltak [kgCO ₂ -ekv./ tonn trelast]
<i>Alternativer til 100% dieseldrevet transport</i>		
- Nivå: 50%/50% diesellastebil/el. tog	13	
- Nivå: lastebil basert på elektr. eller biogass		22
SUM MULIGE INNSPARINGER	13	22

Tabell 5.8: Spesifikke potensialer for reduserte klimabelastninger i transport av trelast til forbruker, basert på bl.a. (Fossdal 1995) og (Beyer 2001).

Tiltaksnivåer	MT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv. 50år]	HT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv. 50år]
Reduksjon moderate tiltak (13 tonn CO ₂ -ekv. /tonn trelast)	9 874	26 935
Reduksjon maksimale tiltak (22 tonn CO ₂ -ekv. /tonn trelast)	16 710	45 582

Tabell 5.9: Reduserte klimabelastninger ved redusert bruk av fossil energi i produksjonsfasen på to tiltaksnivåer for scenariene middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruk, (basert på vekst treforbruk fra fra tab. 5.4).

5.4.4 Økt gjenbruk i avfallsfasen

Materialene kan bevares ved materialgjenvinning og gjenbruk. Dermed spares klimabelastende nyproduksjon.

Materialgjenvinning av oppmalt trevirke er en opsjon for plateindustrien, men per idag er den ikke kommersielt interessant (Fjeldly 2001). Gjenbruk er trolig mer aktuelt. Byggebransjen har satt seg som mål å øke gjenbruket av avfallsvirke til 10% innen 2005 (LBN 2001).

I prinsippet kan alle inntakte bygningskomponenter gjenbrukes. Men noen vil være uaktuelle p.g.a. lav ytelsesstandard, eksempelvis gamle vinduer og dører, mens andre vil falle bort fordi nødvendig kvalitetssikring er problematisk. Dette gjelder i første rekke multimaterialer der ingrediensene i seg selv kan ha ulik levetid.

Konstruksjonsmaterialer er mest aktuelle for gjenbruk. Trematerialer mister bare i liten grad styrkeegenskaper over tid, og konstruksjonsvirke kan nesten uten unntak gjenbrukes til opprinnelig formål. Med vekt på rene treprodukter og lett demonterbare konstruksjonsløsninger vil imidlertid de fleste bygningskomponentene i tre kunne gjenbrukes. Det er utviklet eksperimentelle byggesystemer der inntil 75% av treproduktene kan gjenbrukes, (Berge 1996).

Det er i liten grad utviklet metodikk for å godskrive bygningers/produkters gjenbrukspotensiale i livsløpsanalyser. Det vanlige er å praktisere såkalt cut-off som innebærer at alt tilfaller neste husgenerasjon, se Tillegg 2. Dette er en lite hensiktsmessig måte å få fram en bygnings gjenbrukspotensiale på.

I den videre behandlingen er det søkt å betrakte to husgenerasjoner a 50 år under ett for deretter å la en halvering av resultatet beskrive en husgenerasjon.

Gjenbrukspotensialet forholder seg til treinnholdet i bygningen, og altså ikke treforbruket. Med utgangspunkt i blant annet (Fossdal 1995) kan vi grovt og skjønnsmessig ta utgangspunkt i at det til enhver tid eksisterende treinnholdet utgjør ca. 75% av treforbruket over 50 år i en bygning med middels økning i treforbruk og 85% i en bygning med høy økning i treforbruk. Stigningen har utgangspunkt i økt bruk av massive konstruksjoner som i seg selv er mer gjenbruksvennlige enn lette trekonstruksjoner.

Vi kan i utgangspunktet tenke oss to tiltaks-nivåer.

I det første blir bare konstruksjonene gjenbrukt og der konstruksjonsandelen grovt anslås til 65% av det samlede treforbruket.

På det neste tiltaks-nivået økes gjenbruket ytterligere med 20%. Dette innebærer at også golvbord, ulike plater i underkledninger, innerkledninger og lettvegger gjenbrukes.

Tiltak	MT: Redusert treforbruk per husgenerasjon [tonn]	MT: Redusert klimabelastning per husgenerasjon [tonn CO ₂ -ekv. 50år]	HT: Redusert treforbruk per husgenerasjon [tonn]	HT: Redusert klimabelastning per husgenerasjon [tonn CO ₂ -ekv. 50år]
Konstruksjonen gjenbrukes	246 847	12 342	673 371	33 669
Max. gjenbruk	322 800	16 140	880 562	44 028

Tabell 5.10: Redusert klimabelastning som følge av økt gjenbruk av treprodukter ved henholdsvis middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruket. Det beregnes gjennomsnittlig produksjonsmessig klimabelastning på 0,05 kg CO₂-ekv. pr. kg trevirke, se Tabell T1.2, Tillegg 1. Det tas sikte på at gjenbruksmaterialene benyttes direkte i neste husgenerasjon, men at klimagevinsten fordeles 50/50 på de to husgenerasjonene.

5.4.5 Forbedret energigjenvinning

I basisscenariet er det tatt utgangspunkt i energigjenvinning av 50% av treavfallet som ligger i nærheten av dagens praksis. Med innføring av avfallsdirektivet fra 2006 kan denne andelen i verste fall synke. Men mest trolig vil man istedet legge seg i selen for å øke energigjenvinningsandelen. Og man vil kanskje følge Danmark og Sverige som har innført forbud mot deponering av brennbart avfall.

Men dette vil forutsette renere treavfall eller flere forbrenningsanlegg. Varmebehandlet trevirke som kan energigjenvinnes på vanlige biobrenselanlegg vil etterhvert kanskje erstatte trykkimpregnert virke som idag utgjør ca. 8% av trelastforbruket. Vi kan også forestille oss at det innføres deklarasjoner av behandlingsmetoder som aksepteres for energigjenvinning uten ekstra krav til røykgassrensing, eks. lut- og voksbehandling, linoljemaling uten soppdreper etc. Men da har vi selvsagt et sorteringsproblem som må løses.

I Tabell 5.11 er det tatt utgangspunkt i henholdsvis 75% og 100% energigjenvinning som med overveiende sansynlighet vil være innfridd når dagens nybygg skal rives. Energigevinst med 50% energigjenvinning, som allerede er regnet på i tabell 5.5, er trukket fra slik at vi her ser på *økt* klimabeparelse ved å gå fra 50% til hhv 75% og 100%.

Tiltak	MT: Økning treavfall til gjenvinning [tonn]	MT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv. 50år]	HT: Økning treavfall til gjenvinning [tonn]	HT: Redusert klimabelastning [tonn CO ₂ -ekv. 50år]
Økning fra 50-75% gjenvinning	189 883	47 471	517 978	129 494
Økning fra 50-100% gjenvinning	379 765	94 941	1 035 955	258 989

Tabell 5.11: Redusert klimabelastning som følge av økt energigjenvinning av treprodukter ved henholdsvis middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruket, (basert på vekst treforbruk fra Tab. 5.4). Det beregnes gjennomsnittlig substitusjonseffekt på 0,25 kg CO₂-ekv. pr. kg trevirke, se Tillegg 2.

5.5 Samlescenarier

5.5.1 Introduksjon

Det er aktuelt å se på potensialene for forbedringer i sammenheng med basisscenariene. Flere av forbedringstiltakene vil kunne regnes inn som rene supplementer. Dette omfatter produksjons- og transportmessige forbedringer, samt et stykke på vei økt holdbarhet i driftsfasen. Unntak vil gjelde gjenbrukstiltak som raskt vil komme i beregningsmessig konflikt med såvel produksjonsmessige tiltak som energigjenvinning.

Også gjenbruksproduktene vil i siste hånd trolig energigjenvinnes. Det er likevel valgt å skille klimapotensialet ved økt gjenbruk ut som egen Tabell 5.12 der det utelukkende suppleres med tallgrunnlag fra basisscenariet uten energigjenvinning.

Basisscenariet uten energigjenvinning er også vist med samtlige forbedringstiltak i produksjons- og bruksfase i Tabell 5.13.

I Tabell 5.14. er basisscenariet med energigjenvinning vist med ekstra tiltak for energigjenvinning samt aktuelle tiltak i produksjons- og driftsfase. Lavere materialforbruk i driftsfasen vil i prinsippet redusere potensialet for energigjenvinning noe. Men dette må anses som et marginalt aspekt og blir ikke berørt.

I Tabell 5.15 er det vist aktuelle variasjoner over et følsomhets-spenn for spesifikk substitusjonseffekt +/- 25%. Det er stor sansynlighet for at "sannheten" om det økte treforbrukets klimamessige substitusjonspotensiale befinner seg et sted mellom disse ytterverdiene.

5.5.2 Basisscenario med gjenbruk

Tiltak	MT basis: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MTmiddels: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MT max: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT basis: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HTmiddels: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT max: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]
Basis	285 655	285 655	285 655	743 855	743 855	743 855
Gjenbruk av konstruksjon		12 342			33 669	
Maksimalt gjenbruk			16 140			44 028
SUMMER	285 655	297 997	301 795	743 855	777 524	787 883

Tabell 5.12: Scenario A uten energigjenvinning: Reduserte klimabelastninger over 50 år med tiltak for gjenbruk og middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruk.

5.5.3 Basisscenario med forbedringstiltak i produksjons- og driftsfase

Tiltak	MT basis: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MTmiddels: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MT max: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT basis: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HTmiddels: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT max: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]
Basis	285 655	285 655	285 655	743 855	743 855	743 855
Produksjon mid. tiltak		17 469			47 654	
Produksjon max. tiltak.			32 660			89 092
Transport mid. tiltak		9 874			26 935	
Transport max. tiltak,			16 710			45 582
SUMMER	285 655	312 998	335 025	743 855	818 444	878 529

Tabell 5.13: Scenario B uten energigjenvinning: Reduserte klimabelastninger over 50 år med aktuelle tiltak i produksjons- og driftsfase for middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruk.

5.5.4 Basisscenario med energigjenvinning og aktuelle forbedringstiltak i produksjons- og driftsfase

Tiltak	MT basis: Reduserte klima- belastninger[tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MTmiddels: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MT max: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT basis: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HTmiddels: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT max: Reduserte klima- belastninger [tonn CO ₂ - ekv. 50år]
Basis	380 606	380 606	380 606	1 002 844	1 002 844	1 002 844
Produksjon mid. tiltak		17 469			47 654	
Produksjon max. tiltak.			32 660			89 092
Transport mid. tiltak		9 874			26 935	
Transport max. tiltak,			16 710			45 582
Energi- gjenvinnin g til 75%		47 471			129 494	
Energi- gjenvinnin g til 100%			94 941			258 989
SUMMER	380 606	455 420	524 917	1 002 844	1 206 927	1 396 507

Tabell 5.14: Scenario C med energigjenvinning: Reduserte klimabelastninger over 50 år med ulike nivåer av energigjenvinning og tiltak i produksjon og driftsfase for middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruk.

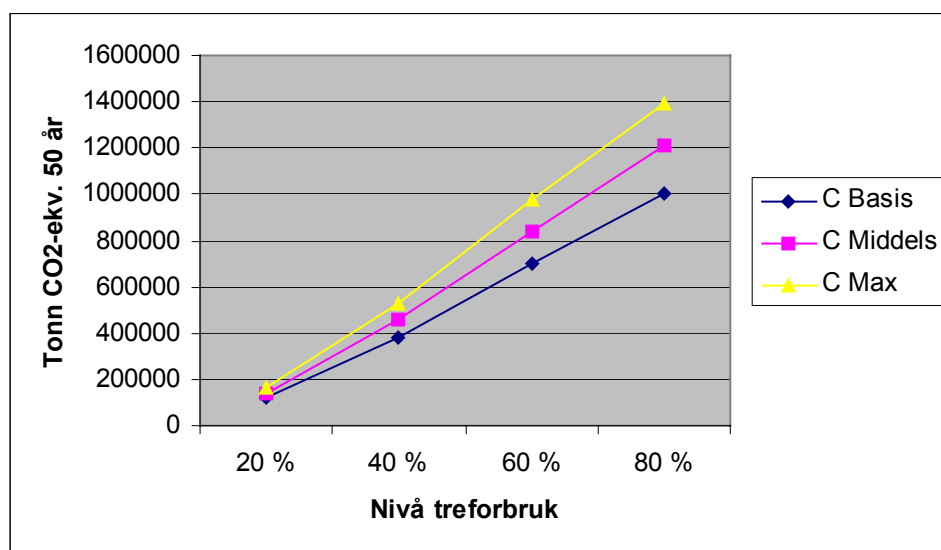


Diagram 5.1: Grafisk framstilling av substitusjonseffekten ved gjennomføring av Scenario C i en husgenerasjon over 50 år. I tillegg til økninger til 40 og 80% av mulig treforbruk, er også økninger til 20% og 60% kalkulert. Følsomhetsspenn er ikke vist.

5.5.5 Scenariene med følsomhets-spenn

Scenario	MT-25 [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MT 0 [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	MT+25 [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT -25 [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT 0 [tonn CO ₂ - ekv. 50år]	HT +25 [tonn CO ₂ - ekv. 50år]
A basis	214 239	285 655	357 071	557 891	743 855	929 819
A middels	226 581	297 997	369 413	591 560	777 524	963 488
A max	230 379	301 795	373 211	601 919	787 883	973 847
B basis	214 239	285 655	357 071	557 891	743 855	929 819
B middels	241 582	312 998	384 414	632 480	818 444	1 004 408
B max	263 609	335 025	406 441	692 565	878 529	1 064 493
C basis	309 190	380 606	452 022	816 880	1 002 844	1 188 808
C middels	384 004	455 420	526 836	1 020 963	1 206 927	1 392 891
C max	453 501	524 917	596 333	1 210 543	1 396 507	1 582 471

Tabell 5.15: Følsomhets-spenn scenarioene A, B og C for ulike tiltaksnivåer når spesifikk substitusjonseffekt varierer -25% (-25), 0% (0) og +25% (+25) for middels (MT) og høy (HT) økning av treforbruk.

5.6 Godskriving etter Kyotoprotokollen

5.6.1 Introduksjon

Kyotoprotokollen gir regler for hvilke reduksjoner i nasjonale klimabelastninger som kan godskrives i de nasjonale regnskapene.

I Kyotoforhandlingene har det hele tiden vært diskusjoner om betydningen av skogsdrift i klimasammenheng. Men i avtaleteksten er det slått fast at karbonbinding som følge av skogreising foretatt etter 1990 vil bli godskrevet i første periode fram til 2008-2012. På klimakonvensjonens partskonferanse i 2001 ble de også slått fast at landene kan trekke fra en begrenset mengde CO₂ i sitt nasjonale utslippsregnskap gjennom skogforvaltningstiltak som øker mengden karbon bundet i skogen.

Når det gjelder behandlingen av produkter fra skogen, er avtalens utgangspunkt klart: CO₂ bundet i trevirke skal regnes som frigjort i det året hogst skjer. Levetiden på treproduktene, og således karbonlagringen, tillegges altså foreløpig ingen betydning i klimasammenheng. I den planlagte revisjonen av avtalen i 2010 - 2012 vil spørsmålet tas opp på ny.

5.6.2 Substitusjon i Kyotoavtalen

I prinsippet vil alle reelle gassutslipp innenfor et lands grenser bli medregnet i de nasjonale utslippsregnskapene. Således vil i utgangspunktet alle dokumenterte reduksjoner som følge av bygningssektorens substitusjon til trevirke telle med. Dette vil også gjelde energigjenvinning i den grad bioenergien faktisk erstatter annen og mer belastende kraftproduksjon. Hvorvidt biomassen stammer fra energigjenvinning eller forbrenning av fersk biomasse er uinteressant.

Et aspekt som imidlertid kan skape regnskapsmessige problemer er forholdet mellom import og eksport av produkter. Det er viktig at ingen ting telles flere ganger. Men ettersom trebearbeidende industri idag dekker 90% av sitt råstoffbehov gjennom kjøp av norsk virke og omsetter ca. 70% på det norske markedet (Veum 2001) kan vi ta utgangspunkt i et

eksportoverskudd. Dette innebærer at byggebransjen i all hovedsak baserer seg på norsk virke og at substitusjonsregnskapet således ikke berøres.

5.6.3 Substitusjon i det norske klimaregnskapet

Som grunnlag for å dimensjonere substitusjonspotensialet i det norske klimaregnskapet er det tatt utgangspunkt i Scenario C. Her er energigjenvinning av rivningsvirke inkludert.

Levetiden for bygninger er, som tidligere, stipulert til 50 år.

Mens Tabell 5.16 viser substitusjonspotensialene for et enkelt årskull av nybygg, søker Tabell 5.17 å oppsummere det samlede potensialet når også senere årskull oppføres med samme treforbruk. Det inndeles her i reduserte klimabelastninger over de første 50 årene (F) og i årene deretter (E), fordelt på akkumulerte reduksjoner over 50 år og gjennomsnittlige reduksjoner per år.

Vi skal være oppmerksomme på at majoriteten av de innsparte klimabelastningene genereres i produksjonsfasen. Dette kan imidlertid endre seg hvis nivået for godskriving av energigjenvinning høynes som følge av økt fossilt innslag i den nasjonale kraftproduksjonen. Inntil videre kan det imidlertid tas utgangspunkt i et samlet praktisk substitusjonspotensiale (P) i området mellom (F) og (E).

Grunnlag	Reduserte klimagassutslipp over 50år [tonn CO ₂ -ekv. 50 år]	Reduserte klimagassutslipp per år [tonn CO ₂ -ekv./ år]
<i>Substitusjonseffekt middels økning i treforbruk (MT)</i>	309.190 - 452.022	6.183 - 9.040
- med mid. forbedringstiltak	384.004 - 526.836	7.680 - 10.536
- med max. forbedringstiltak	453.501 - 596.333	9.070 - 11.926
<i>Substitusjonseffekt høy økning i treforbruk (HT)</i>	816.880 - 1.188.808	16.337 - 23.776
-med mid. forbedringstiltak	1.020.963 - 1.392.891	20.419 - 27.857
- med max. forbedringstiltak	1.210.543 - 1.582.471	24.210 - 31.649

Tabell 5.16: Aktuelt variasjonsområde for den samlede klimaeffekten ved substitusjonstiltak for en årsklasse nybygg over 50 år og per år. Basert på Tabell 5.15 Scenario C (inkl. energigjenvinning)

Grunnlag	Akkumulert reduksjon F [mill. tonn CO ₂ -ekv. 50 år]	Akkumulert reduksjon E [mill. tonn CO ₂ -ekv. 50 år]	Snitt-reduksjon per år F [mill. tonn CO ₂ -ekv./år]	Snitt-reduksjon per år E [mill. tonn CO ₂ -ekv./år]	Praktisk snitt-reduksjon per år P [mill. tonn CO ₂ -ekv./år]
<i>Substitusjonseffekt middels økning i treforbruk (MT)</i>	7,7 - 11,3	15,4 - 22,6	0,15 - 0,23	0,31 - 0,45	0,3
- med middels ekstratiltak	9,6 - 13,2	19,2 - 26,4	0,19 - 0,26	0,38 - 0,53	0,35
- med alle ekstratiltak	11,3 - 14,9	22,6 - 29,8	0,23 - 0,30	0,45 - 0,60	0,4
<i>Substitusjonseffekt høy økning i treforbruk (HT)</i>	20,4 - 29,7	40,8 - 59,6	0,41 - 0,60	0,82 - 1,20	0,8
- med middels ekstratiltak	25,5 - 34,8	51,0 - 69,6	0,51 - 0,70	1,02 - 1,40	0,95
- med alle ekstratiltak	30,3 - 39,6	60,6 - 79,2	0,61 - 0,79	1,20 - 1,60	1,1

Tabell 5.17: Betydning av substitusjonstiltak i første 50 år (F) og i påfølgende 50 år (E), angitt som akkumulerte reduksjoner i klimagassutslipp over 50 år og per år. Praktisk snitt-reduksjon per år (P) er beregnet som halveringssum mellom (F) og (E).

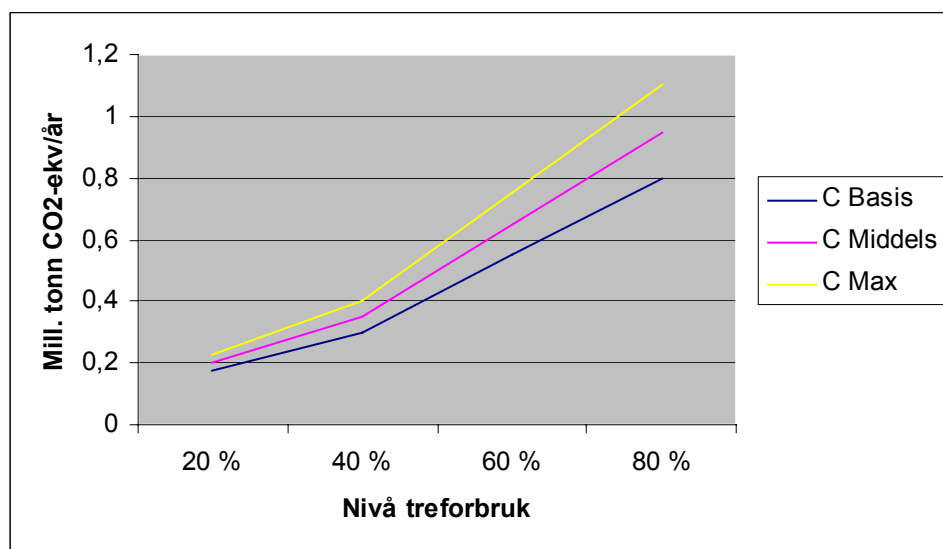


Diagram 5.2: Grafisk framstilling av den gjennomsnittlige substitusjonseffekten per år når 50 påfølgende husgenerasjoner bygges med samme treforbruk. I tillegg til angivelser for økning av treforbruk til 40 og 80% etter Tabell 8.18 "praktisk snittreduksjon", er også treforbruk til 20% og 60% beregnet.

6.0 Diskusjon av resultater

6.1 Oppsummering av resultater

6.1.1 Reduserte klimagassutslipp

I Kapittel 5 er det gjennomført scenarier med *middels økning* og *høy økning* av treforbruket, der *middels økning* er angitt innen antatt realistiske rammer, men likevel med forutsetning om betydelig omstillingsevne i byggebransjen. *Høy økning* representerer et antatt øvre praktisk grense for bruk av tre i nybygg. Med utgangspunkt i Tabell 5.17 kan vi anslå potensialet for reduksjon av klimagassutslipp ved substitusjon til tre i nybygg til ca. 0,3 mill. tonn CO₂-ekv. per år ved *middels økning* i treforbruket og 0,8 mill. tonn CO₂-ekv. per år ved *høy økning*. Med ulike forbedringstiltak i produksjon og avfallsbehandling kan reduksjoner på henholdsvis i underkant av 0,4 og overkant av 1,1 mill. tonn CO₂-ekv. per år oppnås. Men anslagene er usikre og vil raskt kunne variere med 0,1 mill. tonn i begge retninger.

På bakgrunn av stipulerte samlede indirekte CO₂-belastninger knyttet til konvensjonelle nybygg på ca. 1,3 mill. tonn CO₂ per år, se Kap. 1, Avsnitt 1.2.4, må bidraget fra økt substitusjon til tre således anses som vesentlig. Innenfor rammene av *middels økning* av treforbruket, vil klimabelastningene kunne reduseres med mellom 20% og 30% avhengig av hvilke ekstratiltak som settes inn i produksjon og avfallsbehandling. I ekstrem-scenariet *høy økning* vil reduksjonen overskride 80%.

Vi skal også ha i mente at materialforbruk til ombygginger og mindre tilbygg i bruksfasen ikke er medtatt. Her er det god grunn til å anta at det skjuler seg et betydelig og voksende grunnlag for treprodukter.

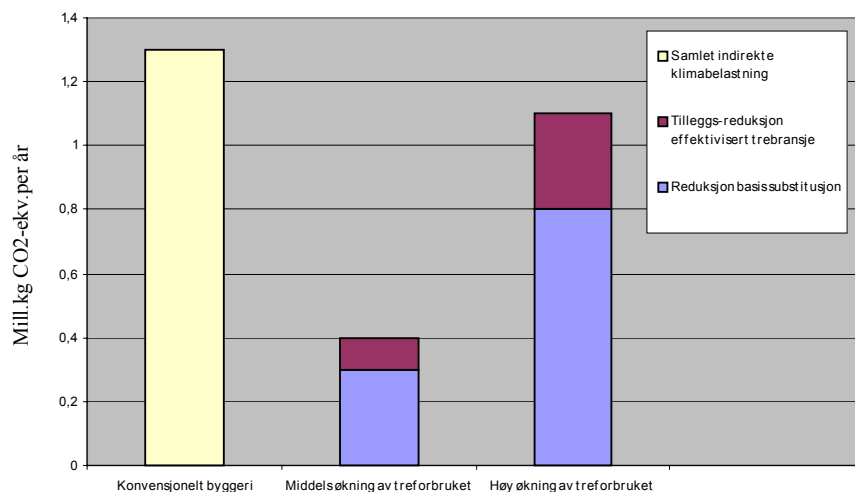


Fig.6.1: Klimaeffekt av substitusjon til tre i nybygg ved henholdsvis middels og høy økning i treforbruket, sammenlignet med belastninger i konvensjonelt byggeri. Beregningene tar utgangspunkt i at alle nybygg i løpet av en periode på 50 år oppføres med samme tiltaksnivå.

6.1.2 Substitusjon og nasjonale perspektiver

Sett i forhold til det samlede behovet for innsparinger i de norske klimagassutslippene på ca. 10 mill. tonn fram til 2010 (SFT 2000) er potensialet knyttet til økt substitusjon til tre i nybygg ikke fullt så imponerende. Som et av flere enkelttiltak må det likevel betraktes som betydningsfullt. Men samtidig må vi ta i betraktning at byggebransjen er en konservativ bransje med mange kryssende interesser og at et realistisk tidsperspektiv for en omstilling nok vil ligge betydelig lengre fram i tid enn 2010.

Som det framgår av Tillegg 6 er flere av treindustriens største konkurrenter nå inne i kraftige omstillingsprosesser der miljøeffektivisering av produktene tillegges stor vekt. Dette påskyndes av forventede CO₂-avgifter, og man regner med å kunne redusere CO₂-utslippene fra produksjon av stål, sement og aluminium med 50-75% innen 2020 (Kram 2001). Trebransjen må således arbeide hardt for at ikke marginene som allerede er vunnet skal hentes inn.

6.1.3 Norge og andre land

Treforbruket i norske bygninger er i utgangspunktet høyere enn i andre europeiske land, der omfanget av særlig klimabelastende konstruksjoner i betong, stål o.l er tilsvarende større. Dermed går Norge glipp av betydelige substitusjonsgevinster.

Også den norske energisituasjonen reduserer potensialene. Elektrisitetsproduksjonen er for en stor del basert på klimanøytral vannkraft, og konkurrerende materialprodusenter med høyere elektrisitetsforbruk vil slippe lettere unna, se Tillegg 1 Tabell T1.2. I forlengelsen av dette vil også betydningen av energiutnyttelse av treavfall være lav.

Vi kan således regne med at substitusjonseffekten ved overgang til treprodukter vil være betydelig høyere i mange andre europeiske land.

I framtiden kan vi se for oss at det norske kraftmarkedet vil suppleres av gasskraftverk eller økt import fra kontinentet, i begge tilfeller med betydelige klimakonsekvenser. Vi kan også regne med at forurensende industri i sentral-Europa vil være stadig mer interessert i å kjøpe opp andeler av norsk vannkraft på grønne sertifikater. Det er dermed mye som taler for at klimabelastningene i det norske kraftnettet vil stige. Dette vil skape problemer for innfrielsen av de norske Kyoto-forpliktelsene, men altså øke betydningen av substitusjon til trealternativer i byggesektoren.

6.1.4 Effekt av karbonlagring

Den passive substitusjonseffekten av karbonlagring vil først bli problematisert i Forprosjekt 2. Men med mulig økninger i treforbruk som i scenario "Middels økning" og bindingskapasitet som beskrevet i Tillegg 3, er det grunn til å anta at bidraget til reduksjon av klimabelastningene her vil bli betydelig større enn de beregnede aktive substitusjonspotensialene.

6.2 Prosessen

6.2.1 Svakheter i prosjektgrunnlaget

Forprosjektet lider under flere åpenbare svakheter i grunnlagsmaterialet. Omfattende bruk av skjønnsmessige vurderinger har således vært vanskelig å unngå. Dette har gått utover presisjonsnivået.

Særlige problemer har knyttet seg til manglende informasjon om dagens treforbruk i bygningsbransjen, generelt sviktende relevans i kildetilfanget og lite aktuelle vinklinger i foreliggende livsløpsstudier. Det savnes også generelt vurderinger av materialforbruk til endringsarbeider i bruksfasen.

6.2.2 Metodiske usikkerheter

Særlig i forhold til betydningen av energigjenvinningen knytter det seg metodiske problemer. Dette gjelder i første rekke spørsmålet om og eventuelt størrelsen på godskriving av energiutbyttet ved forbrenning.

6.3 Andre miljøaspekter ved økt bruk av tre

6.3.1 Introduksjon

Det vil alltid være en risiko for sub-optimalisering når man bare tar for seg en miljøfaktor uten å ivareta helhetsperspektivet. Generelt kan det imidlertid se ut til at bruken av treprodukter også vil være gunstig når det gjelder andre miljøaspekter. Treproduktene fremmer ikke forsuring og inneholder ikke stoffer som skader ozonlaget. Også omfanget av miljøgifter vil reduseres ved økt treforbruk hvis vi ser bort fra utslipp knyttet til impregnering med tungmetaller og olje- og kullbaserte biocider. I et visst mon vil imidlertid graden av overgjødning kunne påvirkes negativt av økt trebruk. Og dannelsen av bakkenær ozon er generelt noe høyere for trealternativene som følge av energiproduksjon med biobrensel.

Mest alvorlig er imidlertid risikoen for skader på biologisk mangfold ettersom økt treforbruk vil kunne føre til mer intensiv skogsdrift. Vi skal være oppmerksom på at dette også kan virke tilbake på klimaegenskapene ved negativ endret karbondynamikk i skogene. Som overordnet prinsipp bør man forholde seg til retningslinjene i “Konvensjonen om biologisk mangfold” og FN’s Skogpanel.

7.0 Kilder

- Adalbert 1998 Adalbert K *Ekologisk byggende. Føreställningar och fakta* Boverket, Karlskrona 1998
- Adalberth 2000 Adalberth K *Energy use and Environmental Impact of New Residential Buildings* TVBH-1012, Departement of Building Physics, LTH, Lund 2000
- Andersen 2000 Andersen T et al *Alternativ isolering i bygninger. Måling på papiruld, fåreuld og Perlite* SBI-meddelelse 128, Hørsholm 2000
- Apps 1997 Apps M et al *Accounting System Considerations: CO₂ Emissions from Forests, Forest Products, and Land-Use Change* A statement from Edmonton 1997, www.joanneum.ac
- Areklett 2002 Areklett I *Tilbake til trekull?* Cicerone 1/2002
- Bach 2003 Bach M *Thermocell træfiberisolering* produktdokumentasjon 2003
- Berg 1996 Berg S *Emissioner till luft från fossila bränslen i svenskt skogsbruk. En inventering för LCA av träprodukter* Träteck Rapport 9601004, Stockholm 1996
- Berg 2003 Berg S et al *Kollagring i den skogsindustriella sektorn i Sverige. Beräkningar för sektorn som helhet och i byggnader* Träteck Rapport 0302007
- Berge 1995 Berge B *Byggningsmaterialer for en bærekraftig utvikling* NKB Utskott- og arbeidsrapporter 1995:07, Helsingfors 1995
- Berge 1996 Berge B *Byggesystem for Ombruk* Prosjektrapport til NTN/SFT, Lista 1996
- Berge 1997/1 Berge B *ADISA-Structures. principles for re-usable building construction* PLEA 1997, Kushiro 1997
- Berge 1997/2 Berge B et al *Nedbrytingsdyktige konstruksjoner* Rapport til Landbrukets Utviklingsfond Pnr.2-0350, Lista 1997
- Berge 2002/1 Berge B *Binding av drivhusgasser i bygninger* Miljøstrategi nr. 1/2002
- Berge 2002/2 Berge B *Momenter til et klimaregnskap for bygninger* Prosjektrapport til NABU oktober 2002
- Beyer 2001 Beyer G et al *Miljönyckeltal för trävaruindustrin - Handbok för beräkning och användning.* ISSN 1400-4615 Träteck Handledning 0109020, Stockholm 2001
- Beyer 2001/2 Beyer, Hagarsson, Johansson *Miljöstyrd produktutvevling i träindustrin* Träteck 2001
- Björklund 1996 Björklund T and Tillman AM *LCA of building Frame Structures - Environmental Impact over the Life Cycle of Concrete and Steel Frames* Report 1996:8 Technical Environmental Planning CTH, Göteborg 1996
- Björklund 1997 Björklund T and Tillman AM *LCA of building frame structures. Environmental impact over the life cycle of wooden and concrete frames* Chalmers University of Technology Report 1997:2, Göteborg 1997
- Bramslev 2000 Bramslev K *Miljøeffektivitet i bygg og eiendomssektoren* OECD-rapport, GRIP Senter, Oslo 2000
- Brown 1980 Brown och Partheen *Värmelagring og temperatur i väggar och bjälklag vid rumstemperatursvängningar* Teknisk Rapport, SP-rapport 1980:13
- Brox 2003 Brox KH *Importen av regnskog øker* Natur og Miljø Bulletin 5/2003
- Brunklaus 2002 Brunklaus B et al *Vad innebär ett ökat träbygande i Sverige för miljön? Granskning av jämförande LCA - studier av stombyggnadsmaterial i hus* ESA-rapport 2002:6 CTH, Göteborg 2002
- Böswald Böswald K *Present and Future Options of Forest and forestry for CO₂-Mitigation in Germany* Institute of Forest Policy, Albert-Ludwigs University, Freiburg
- Damberger 1995 Damberger BF *Vergleich von "Ziegelbauten" mit "Holzbauten" in bezug auf den globalen und regionalen CO₂-Haushalt und die Erzeugten Güter und Energieströme* Technical University, Vienna, Vienna 1995 (REFERAT I PERM)
- Duin 1997 Duin R van *Production and consumption of materials in Western Europe in the year 2000. An overview of materials with CO₂-relevance* Bureau B&G, Emst 1997
- ECON 1995 ECON *Klimamessige virkninger av økt bruk av trevirke* Oslo 1995
- Egertz 1999/1 Egertz B et al *Kaunapanel ett kvalitetssäkrat fasadvirke* Träinformation 3/1999
- Egertz 1999/2 Egertz B *Stående årsringar ger stabilare material* Träinformation Mars 1999
- Englund 1997 Englund F et al *Flyktiga ämnen från trä och träprodukter* Träteck Kontenta 9704042, 1997
- Enlid 1999/1 Enlid E et al *Beregning av bruksarealet av den norske byggningsmassen* SINTEF Teknisk Rapport A 4963, Trondheim 1999
- Enlid 1999/2 Enlid E *Fordeling av energibærere og resulterende CO₂-utslipp som følge av energibruk i den norske byggningsmassen* SINTEF teknisk Rapport A 4964, Trondheim 1999
- Eriksson 2003 Eriksson H *Use of wood and wood products in the light of the climate change discussion* Seminar on Strategies for the Sound use of Wood, Economic Commission for Europe, Poiam 2003
- Erlandsson 1997 Erlandsson M *Översiktlig LCA för tre stommealternativ för byggnader i Vetenskapsstaden* 1997

Erlandsson 2003	Erlandsson M <i>Miljöanpassade byggnader: Spesifika regler för bedömning av byggnader i ett livscykelperspektiv</i> IVL Svenska Miljöinstitutet Rapport B 1509, Stockholm 2003
Esser 1999	Esser P <i>Life Sys Wood. Consistent Life Cycle Analyses of wood Products</i> . Final Consolidated Report CHT-R0195
Esser 2001	Esser P <i>A consistent Approach to Final Waste Management of Wood Products in LCA</i> Cost Action E9, European Commission 2001
Fjeldly 2001	Fjeldly LS et al <i>Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall</i> 15.feb 2001
Flugsrud 1998	Flugsrud K et al <i>A balance of use of wood products in Norway - Part II. Comparison between the suggested IPCC method and the reservoir method for estimating the annual release of biotic carbon</i> SFT Report 98:04, Oslo 1998
Flugsrud 2001	Flugsrud K et al <i>Estimating the net emission of CO₂ from harvested wood products. A comparison between different approaches</i> SFT Report 1831/2001, Oslo 2001
Fossdal 1995/1	Fossdal S <i>Energi- og miljøregnskap for bygg</i> Byggforsk Prosjektrapport 173, Oslo 1995
Fossdal 1995/2	Fossdal S <i>Miljødata for bygningskonstruksjoner</i> Byggforskserien 470.111, oslo 1995
Fossdal 1999/1	Fossdal S <i>Vinduer i eksisterende bygninger - vedlikehold, oppgradering eller utskifting</i> ? Byggforsk Prosjektrapport 263, Oslo 1999
Fossdal 1999/2	Fossdal S et al <i>Bygningers energiforbruk og miljøpåvirkning. En studie av tradisjonelle og moderne trebygninger</i> Byggforsk Prosjektrapport 262, Oslo 1999
Fossdal 2000	Fossdal S <i>Livsløpsvurderinger av bygninger og bygningsmaterialer</i> Byggforskserien 470.101, Oslo 2000
Fossdal 2002	Fossdal S et al <i>Miljøindikatorer for bygg- og eiendomssektoren</i> NBI Prosjektrapport, Oslo 2002
Fritzen 1997	Fritzen K et al <i>Systeme für den holzhausbau im überblick</i> Bauen mit Holz 5/1997
Frühwald 2000	Frühwald A <i>Carbon sink - wood products</i> Marcus Wallenberg Prize Symposium, Stockholm 13.Oct. 2000
Frühwald 2003	Frühwald A et al <i>Comparison of wood products and major substitutes with respect to environmental and energy balances</i> UN Seminar on Strategies for the sound use of wood, Poiana Brasov 2003
Frøstrup 1991	Frøstrup A et al <i>Tømreteori. Konstruksjoner i tre</i> Universitetsforlaget, Oslo 1991
Gielen 1997	Gielen DJ <i>Building Materials and CO₂. Western European emission reduction strategies</i> ECN-C-97-065
Gielen 1998	Gielen DJ et al <i>Biomass for energy or materials? A Western European MARKAL MATTER 1.0 model characterisation</i> Draft 20/10/1998
Gielen 2000	Gielen DJ et al <i>Biomass for Greenhouse Gas Emission Reduction</i> EU project ECN-C-00-001, 2000
Gjesdal 1996	Gjesdal SFT et al <i>A balance of use of wood products in Norway</i> SFT report 96:04, Oslo 1996
Gjesdal 1998	Gjesdal SFT <i>A balance of use of wood products in Norway - part III</i> SFT report 98:05, Oslo 1998
Gloslie 2003	Gloslie S et al <i>Fleretasjes trehus</i> Byggforsk Håndbok 51, Oslo 2003
Godal 1994/1	Godal JB <i>Tre til tekking og kledning. Frå den eldre materialforståinga</i> Landbruksforlaget, Oslo 1994
Godal 2002	Godal O et al <i>Hvilke klimagasser er viktigst å redusere?</i> Cicerone 1/2002
Goverse 2001	Goverse et al <i>Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints</i> Resources, Conservation and Recycling 34/2001
Graubner 1992	Graubner W <i>Encyclopedia of Wood Joints</i> The Taunton Press, Newtown 1992
Gustafsson 1998	Gustafsson A <i>Vægger av massivträ. Teknikk, økonomi, produksjon</i> Trätekk Rapport 9812112, Skellefteå december 1998
Gustavsson 2001	Gustavsson L et al <i>Wood vs. Concrete Buildings in a Lifecycle Perspective</i> COST Action E9, EUR, Luxembourg 2001
Hafsøe 2002	Hafsøe K <i>Ubehandlede trefasader. Problemer og muligheter</i> Hovedoppgave NTNU Våren 2001, Trondheim 2002
Haggarrsson 1999	Haggarrsson J-E et al <i>Miljøredovisning av trähustilverkare och trähus miljöprestanda</i> Trätekk Rapport P9910045, Stockholm 1999
Hall 1981	Hall GS <i>The art of timber drying with solar kilns</i> Hannover 1981
Hansson 1999/2	Hansson T <i>Obehandlat trä på fasad</i> Träinformation September 1999
Haugneland 2003	Haugneland P <i>Vil revolusjonere aluminiumsindustrien</i> Cicerone 2/2003
Hay 1995	Hay M <i>Laftede vegger</i> NBI Byggforskserien 523.291, Oslo 1995
Hekkert 1998	Hekkert MP et al <i>Technology Characterisation for Natural Organic Materials Input data for Western European MARKAL</i> , 98002
Huse 1992	Huse A <i>Kartlegging av helse- og miljøskadelige stoffer i maling, lakk, lim m.v.</i> Vurdering av alternativer SFT Rapport 92:09, Oslo 1992
Häkkinen 1999	Häkkinen T et al <i>Environmental Impact of Coated Exterior Wooden Cladding</i> VTT Building Technology 1.2.1999
Härle 1995	Härle P <i>Handbok för återvinnare</i> Lunds tekniska högskola, Lund 1995
IM 2002	Industikonsortiet <i>Massivträ Massivträhandboken</i> 2002

- IUFRO 2002 Union of Forest Research *World Forests, Society and the Environment. A Global Research* United Nations University 2003
- Jakobsen 2001 Jakobsen EW et al *En verdiskapende skog- og trenæring* Forskningsrapport Handelshøyskolen BI 06/2001
- Jakobsen 2002 Jakobsen B *Parkeringshus i tre* NTI rapp 51/2002, Oslo 2002
- Jarnehammer 1998 Jarnehammer A *Jamförande livscykelanalys - bjälklag och ytterväggar* Träteck, Stockholm 1998
- Jarnehammer 2000 Jarnehammer A et al *Miljöfakta om trä och träprodukter* Träteck Kontenta 0009032, Stockholm 2000
- Johansson 1990 Johansson G et al *Kvalitetskrav på byggnadsvirke* Byggeforskningsrådet R105:1990, Stockholm 1990
- Johnsrud 1998 Johnsrud S *Ekofiber* div. produksdokumentasjon, Hønefoss 1998
- Jungmeier 2001? Jungmeier G *Allocation in LCA of Forestry Products - Recommendations from COST E9* Joanneum Research, Institute of Energy Research, Graz
- Jönsson 1994 Jönsson Å et al *Livscykelanalys av golvmaterial. En jämförelse av linoleum, PVC-matta och massivt furugolv* Byggeforskningsrådet R30:1994, Stockholm 1994
- Jönsson 1995 Jönsson Å *Time horizons in LCA* Art. i Environmental data for building materials in the nordic countries. Tema Nord 1995:577, Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1995
- Karjalainen 1994 Karjalainen T et al *Role of Wood-Based Products in Absorbing Atmospheric Carbon* Silva Fennica, Vol 28 No.2, 1994
- Karjalainen 1999 Karjalainen T *Scenarios for the carbon balance of Finnish forests and wood products* Environmental Science & Policy, Vol. 2 1999
- Karjalainen 2000 Karjalainen T *Sinks in the kyoto protocol and considerations for the Nordic countries* Nordic Councils of Ministers Tema Nord 2000:606, Copenhagen 2000
- Karjalainen 2001 Karjalainen T et al *Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products* European Forest Institute, Discussion paper 10, 2001
- Kasser 1994 Kasser U *Grundlagen und daten zur Materialökologie* 12. überarbeitete Auflage, Büro für Umweltchemie, Zürich 1994
- Kohler 1994 Kohler N et al *Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer* EPFL-LESO Universität Karlsruhe juni 1994
- Kram 2001 Kram T et al *The Matter Project. Integrated energy and materials systems engineering for GHG emissions mitigation* ECN, Amsterdam 2001
- Kram 2002 Kram T et al *Contributing to the Kyoto protocol Summary of annex VII (1998-2002)* Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
- KRD 1998 Kommunal- og regionaldepartementet *Oppfølging av HABITAT II. Om miljøhensyn i bolig- og byggsektoren* Stortingsmelding nr. 28, Oslo 1998
- Kristensen 1999 Kristensen T *Bygningselementer av massivtre* NTI Rapport 45, Oslo desember 1999
- Kristensen 2001 Kristensen *Massive trelementer. Typer og bruksområder* NBI Byggedetaljer 520.205, Oslo 2001
- Krogh 1995 Krogh H et al *Miljødata for udvalgte byggematerialer. Forbrug af fossile brændsler og emission af CO₂ og SO₂* SBI-meddelelse 113, Hørsholm 1995
- Krogh 1998 Krogh H *Applications of environmental data and declarations for building materials* SBI Rapp 306, Hørsholm 1998
- Krogh 1998/2 Krogh H et al *Miljøvurdering af fleretages træhuse*. Nordisk Industrifond under Nordic Wood programmet, DTI Træteknik 1998
- Krogh 2001 Krogh H et al *Miljøvurdering af isoleringsmetoder. Miljødata for isoleringsprodukter og miljøprofiler for lette yttervegger* By og Byg Dokumentation 012, SBI, Hørsholm 2001
- Kucera 1997 Kucera B et al *Egenskaper hos de viktigste norske lauvtrær* NTI rapport 33, Oslo juni 1997
- Kucera 1999 Kucera B et al *Tre. Naturens vakreste råstoff* Landbruksforlaget, Oslo 1999
- LBN 2001 Landsforeningen for bygg og anlegg *Nasjonal handlingsplan for bygg- og rivningsavfall* Oslo 2001
- Linder 2001 Linder S et al *Kan skogen begrænse växthuseffekten?* Miljöforskning 2/01
- Liski 2001 Liski J et al *Which rotation length is favourable to carbon sequestration?* NRC Research Press 2001
- Lundesgaard 2002 Lundesgaard J et al *Trykimpregnering og annen kjemisk trebeskyttelse mot sopper, insekter og marine borende* NBI Byggedetaljer 432.101
- Lundström 2002 Lundström T *Indoor exposed massive wood, moisture and heat smoothing capacity* KTH Byggetenskap, Stockholm 2002
- Løwe 2000 Løwe H et al *Comparison of methods used within Member States for estimating CO₂ emissions and sinks according to UNFCCC and EU Monitoring Mechanism: forest and other wooden land* Biotechnol Agron. Soc. Environ. 2000/4
- Marsh 2000 Marsh R et al *Arkitektur og miljø. Form, konstruktion, materialer - og miljøpåvirkning* Arkitektkolens forlag, Århus 2000

Marutzky 1986	Marutzky R & Schriever E <i>Emmission bei der Verbrennung von Holzspanplattenresten</i> Holz als Roh- und Werkstoff 44: 185-191, 1986
Merra 2001	Merra aA et al (red.) <i>Life cycle assesment on forestry and forest products</i> European Commission COST Action E9 EUR 19858, European Communities 2001
Miljøverndepartementet 1998	Miljøverndepartementet <i>Norges oppfølging av Kyotoprotokollen</i> Stortingsmelding nr. 29, Oslo 1998
Miljøverndepartementet 2001	Miljøverndepartementet <i>Norsk Klimapolitikk</i> Stortingsmelding nr.54, Oslo 2001
Miljøverndepartementet 2002	Miljøverndepartementet <i>Miljøstatus i Norge. Utslipp av klimagasser</i> , 2002
Muilerman 2001	Muilerman H et al <i>Towards a sustainable use of natural sources</i> Stichting Natuur en Milieu, 2001
Myhre 1996	Myhre L <i>Learning from the built heritage on the way towards a sustainable development</i> NBI Project Report 198/1996, Oslo 1996
Myhre 1998	Myhre L Høringsutkast: <i>Miljøvurderinger av byggverk i Teknisk Forskrift 97</i> NBI, Oslo 1998
Möllersten 2003	Möllersten K <i>Vinna tid - Argument för uppsamling och lagring av koldioxid</i> Miljöforskning 2/2003
Nemry 2001	Nemry F et al <i>Geenhouse gas emissions reduction and material flows</i> EAL030701 Final report Summary, VITO Bruxelles 2001
Nero 1999	Nero K et al <i>Återvunna byggnadsmaterial</i> Boverket Handbok BÅ 99, Karlskrona 1999
Nielsen 1995	Nielsen P <i>Energi- og miljøanalyse af bygninger</i> SBI Meddelelse 108, SBI, Hørsholm 1995
Nilsson 2001	Nilsson S <i>Kan kolsänkorna rädda eller fälla vårt klimat?</i> Miljöforskning Nr. 5-6 December 2001
Norèn 1998	Norèn J <i>Miljövärdering av byggnader</i> Trätekt Rapport P9806040, Stockholm 1998
Norèn 1999	Norèn A et al <i>The effect of Thermal Inertia on Energy Requirement in a Swedish Building: Result Obtained with Three Calculation Models.</i> International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings Vol 1, 1999
Norèn 1999/2	Norèn J <i>Miljöanpassad produktutveckling - hur LCA kan användas för prosjektering av ett flervånings trähus</i> Trätekt Rapport 9907028
Norèn 1999/3	Norèn J et al <i>LCA av träfönster och trä-aluminiumfönster</i> Trätekt rapport 9912055, Stockholm 1999
Norèn 2000	Norèn J <i>Miljöfakta om trä och träprodukter</i> Trätekt Kontenta 32 2000
Norèn 2001	Norèn J et al <i>Miljøbedømming av Træhus 2001 - bakgrunnsfakta</i> Trätekt Rapport P 0105010, 2001
Norèn 2003	Norèn J et al <i>Miljøbedømming - Bjälklag och Väggar av massivt trä</i> Trätekt Rapport P020, 2003
NOU 1998	Norges offentlige utredninger <i>Energi- og kraftbalansen mot 2020</i> NOU 1998:11, Statens Forvaltningstjeneste, Oslo 1998
NTI 1990	Norsk Treteknisk Institutt <i>Energiressurs - Regnskap for trevirke som bygningsmateriale</i> NTI Oppdragsrapport 302520, Oslo 1990
Nussbaum 1996	Nussbaum R et al <i>Beständiga träfasader</i> Trätekt Kontenta 9605046
Nussbaum 1997	Nussbaum R et al <i>Utsläpp till luft av flyktiga organiska ämnen (VOC) från virkestorkar</i> Förstudie P-rapport 9709085, Trätekt 1997
Nylander 1999	Nylander J-O et al <i>Återvinning av trä</i> Boverket, Karlskrona 1999
OECD 2001	OECD <i>Instruments and Technologies for climate change policy.</i> Annex 2 - Sectorial Results Environmental Directorate, Paris 2001
Opdal 1997	Opdal T <i>Miljødeklarasjon av Treindustriens produkter</i> Nordic Wood prosjekt P94411, NTI Rapport 37, Oslo 1997
Paajanen 1994	Paajanen L et al <i>Effect of insulation materials on the biodeterioration of buildings</i> VTT Espoo 1994
Patel 2003	Patel M <i>Environmental impacts of biopolymer and natural fibre composites</i> Copernicus Institute, Utrecht 2003
Pohjola 2001	Pohjola J <i>How sinks in wood products affect the cost of Climate Convention and world trade of forest products: result from a global economywide model</i> Finish Forest Research Intitution, Helsinki 2001
Petersen 1998	Petersen EH et al <i>Miljødata for udvalgte bygningsdele</i> SBI-rapport 296, Hørsholm 1998
Petersen 2001/1	Petersen EH et al <i>Miljødata for bygningsdele. Beregnet med pc-værktøjet BEAT 2000</i> Byg og By Dokumentation, SBI Hørsholm 2001
Petersen 2001/2	Petersen EH <i>Energi- og miljøanalyse af tre udvalgte bygninger</i> Byg og By Resultater 008, SBI, Hørsholm 2001
Petersen 2002	Petersen EH et al <i>Miljødata for bygningsdele med alternativ isolering</i> By og Byg Dokumentation 019, 2002
Petersen 2002/2	Petersen AK et al <i>Limtre eller stål? En analyse av energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet</i> Skogforsk Rapport 1/02, Ås 2002

- Petersen 2002/3 Petersen AK et al *Energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet ved bruk av gulvbord i heltre eik sammenlignet med fem alternative gulvløsninger* Skogforsk Rapport 2/02, Ås 2002
- Petersen 2003 Petersen AK et al *Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: A review of micro-level analyses from Norway and Sweden* Dep. of Forest Sciences, NLH, Ås 2003
- Petersen 2003/2 Petersen AK and Solberg B *Comparison of GHG emissions and costs over the life cycle of flooring materials* 2003
- Petersen 2003/3 Petersen AK and Solberg B *Substitution between floor constructions in wood and natural stone: comparison of energy consumption, GHG emissions, and cost over the life cycle* Canadian Journal of Forest Research 2003
- Pingoud 2001 Pingoud K et al *Carbon dynamics in wood products Migration and Adaption Strategies for Global Change*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands 2002
- Pohlmann 1999 Pohlmann CM *Ökobilanz für den Rohbau eines Holzhauses* Diplom-Holzwirt, Universität Hamburg, Hamburg 1999
- Pousette 1998 Pousette A *Livscykelanalys av två träbroar* Träteknik 1998
- Quack 2001 Quack D *Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden - eine Ökobilanz* Bestell-Nr. 420126, Öko-Institut e.V, Freiburg 2001
- Raknes 1997 Raknes E *Vurdering av norske treslag til bruk som fasadematerialer utendørs* NTI Fokus Nr. 2, Oslo 1997
- Raunetsalo 2002 Raunetsalo J et al *Forest Certification update for the Unece region* Geneva timber and forest discussion papers, United Nations 2002
- Richter 1996 Richter K et al *Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialen* EMPA-SZFF Forschungsbericht, Dietikon 1996
- Sandberg 1998 Sandberg D *Vurdering av oppdelingsmetode for stjernesaging* Treteknisk Information nr. 5, 1998
- SBE 2000 Statens Bygningstekniske Etat *Tømmerhus - energi og miljø* Melding HO-1/2000, Oslo 2000
- Scharai-Rad 1999 Scharai-Rad M et al *Biomass for Greenhouse Gas Emission Reduction* Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg 1999
- Scharai-Rad 2002 Scharai-Rad M et al *Environmental and energy balances of wood products and substitutes* FAO, United Nations, Rome 2002
- Schwaiger 2001 Schwaiger H et al *Carbon Balance of Forest Sectors in selected Countries Under Changing Environmental Conditions Using a "Stock Change" Accounting Approach* Cost Action European Community 2001
- Seip 2002 Seip HM *Hvor blir det av CO2-utslippene* Cicerone 4/2002
- Seip 2002/2 Seip HM *Miljøproblemene må ses i sammenheng* Cicerone 5/2002
- Seip 2002/3 Seip HM *Sattelittbilder viser mer skog enn ventet* Cicerone 5/2002
- SFT 1994 SFT *Greenhouse gas emissions in Norway. Inventories and estimation methods* SFT-Report 94:02, Oslo 1994
- SFT 2000 Statens forurensningstilsyn *Reduksjon av klimagassutslipp i Norge. En tiltaksanalyse for 2010* SFT-rapport, Oslo februar 2000
- SFT 2001 Statens forurensningstilsyn *Utslipp av klimagasser i Norge. Historisk utvikling* SFT TA-1840/2001, Oslo 2001
- SFT 2002 Statens forurensningstilsyn *Implementering av EU's direktiv 2000/76/EC om forbrenning av avfall. Konsekvensvurdering*, SFT Oslo 2002
- Simmenes 2002 Simmenes T et al *Miljø og ressurskostnader for import av elektrisk energi* SIO 1060 Energiforvaltning
- Spets 2002 Spets A et al *Byggeavfall. oppsamling og brannsikkerhet* NBI Byggedetaljer 501.105, Oslo 2002
- SSB 1999 Statistisk Sentralbyrå *Utslipp til luft etter næring. Klimagasser*. 1999
- SSB 2002 Statistisk Sentralbyrå *Naturressurser og Miljø 2002* Statistiske Analyser SA 55, 2002
- SSB 2002 Statistisk sentralbyrå *Byggearealstatistikk 2001* Oslo 2002
- SSB 2003 Statistisk Sentralbyrå *Lavere utslipp av klimagasser i Norge. Foreløpige landstall 2002* SSB 2003
- SSB 2003/2 Statistisk Sentralbyrå *Laveste hogstkvantum på 25 år. Foreløpige tall 2002* SSB 2003
- Stucki 2003 Stucki S et al *Vom Holz zum Methan. Verarbeitung von Holz zu Biotreibstoffen soll durch weitere Forschungsarbeiten untersucht werden* ENET-News, Juli 2003
- Sundquist 2003 Sundquist B *Värmebehandling av trä: Från ett historiskt perspektiv till kommersiell produksjon av idag* Luleå Tekniska Universitet 2003:02
- Svanes 2002 Svanes J *Massivtreelement - Miljøvurdering* NTI Prosjekt 380369, Delrapport 4, 2002
- Ståhl 2002 Ståhl F *The effect of thermal mass on the energy use during the life cycle of a building* Building Physics 2002, 6th Nordic Symposium
- Sygna 1999 Sygna L, Fuglestad JS og Aaheim A *Metodar for å samanlikne utslipp av klimagassar. GWP-konseptet og alternative metodar* Cicero, Oslo 1999
- Szokolay 1997 Szokolay SV *The role of thermal mass in cold climates* PLEA, Kushiro 1997

- Tell Tell vB et al *Miljøvennlige ytbehandlinger med lut, bets, olja, vax och såpa* Trätec Rapport P 9406032, Jönköping maj 1994
- Thyholt 1999 Thyholt M et al *Bygningskroppen i livsløpsperspektiv - status og tiltak* SINTEF Rapport STF22 A99500, Trondheim 26.1.1999
- Thörnquist 1990 Thörnquist T *Trä och kvalitet* Byggeforskningsrådet R77:1990, Stockholm 1990
- Tillmann 1995 Tillmann AM *Energy in Life Cycle Assessments* Art. i Environmental data for building materials in the Nordic countries Tema Nord 1995:577. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1995
- Tokle 1999 Tokle T *Status for energibruk, energibærere og CO₂-utslipp for den norske bygningmassen* SINTEF Teknisk rapport A 4887, Trondheim 1999
- Tronstad 2003 Tronstad S *Tre og fuktighet* NTI teknisk Småskrift nr. 35, Oslo 2003
- Trätec 1997 Trätec *Byggvarudeklaration Sågade och hyvlade trävaror* Trätec september 1997
- Trätec 1997/2 Trätec *Vetenskapsstaden. Gästförskarbostäder - ett utvecklingsprojekt med trämassivt byggande* Trätec Rapport 9712114, Stockholm 1997
- Trätec 1998 Trätec *Trä utomhus. Årsringarnas betydelse för sprickbildning* Trätec Kontenta 9806042, 1998
- Veum 2001 Veum O et al *Strategier for økt verdiskaping for furu* Prosjektrapport N001108 Norges Skogeierforbund, august 2001
- Waupotitsch 1999 Waupotitsch M et al *A Bibliography on Greenhouse Gas Balances of Bioenergy, Forestry, Wood Products, Land Use, and Land-Use Change* IEA Bioenergy Task 25, Graz 1999
- Weibel 1995 Weibel T et al *Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen* ESU-Reihe Nr. 1/1995, Zürich, September 1995
- Wimmer 2001 Wimmer R et al *Fördernde und hemmende Faktoren für den Einsatz Nachwachsener Rohstoffe im Bauwesen* Budersministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2001
- Winther 1998 Winther BN *Energibelastninger ved lavenergiboliger* DoktorIng.avh 1998:8, Institutt for Bygningsteknologi, NTNU, Tr.heim 1998
- Wærner 2002 Wærner E *Tre som bærekraftig materiale* SND Verdiskapingsprogrammet for tre, Norges Miljøvernforbund, Bergen 2002
- Zimmer 1996 Zimmer et al *Stoff- und Energiplüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkstoff 54* Springer Verlag 1996
- Östman 1999 Östman B et al *Brandsäkra trähus. Kunskapsöversikt och vägledning för lättbyggsystem i nordnorden* Nordic Wood, Trätec Publ. nr. 9908034, 2000
- Aalde 1997 Aalde O et al *Skog og klima. Skog og treproduktens potensiale for å motvirke klimaendringer* Landbruksdepartementet, Oslo 1997

Tillegg 1: Indirekte klimabelastninger gjennom livsløpet

De materialrelaterte indirekte klimabelastningene vil forekomme gjennom hele bygningens livsløp. Fordelingen vil variere mellom fasene og i første rekke være avhengig av bruken av fossile energikilder og andre kjemiske/fysiske prosesser som materialene er involvert i og der klimagasser utvikles.

I noen tilfeller vil valg av materialer også påvirke de direkte klimabelastningene, eksempelvis ved at tunge materialer kan ha en betydelig varmelagringssevne og således innvirke på energiforbruket til oppvarming. Og valg av lette konstruksjonsmaterialer vil kunne redusere fundamenteringsbehovet og dermed spare klimautslipp forbundet med produksjon av betong og fyllmasse.

T1.1 Indirekte klimabelastninger fordelt på livsløpsfaser

T1.1.1 Råvareutvinning og foredling

Klimabelastningene fra utvinning av råvarer varierer stort fra materiale til materiale. Avgjørende her vil være maskinintensiteten.

For enkelte metaller vil råvaretransportene være betydelige, eksempelvis for norsk aluminiumsindustri som henter bauxitt blant annet fra Sør-Amerika. Treprodukter går vanligvis igjennom første foredlingsstadium i nærheten av skogressursene.

Også bruk av gjenvunnet råvare kan innebære betydelige transportveier hvis industriene er sentralisert.

Foredlingen er vanligvis det mest klimabelastende stadiet i materialenes livssyklus. Det er vanligvis her energiforbruket er størst, og for mange materialer dominerer fossile energikilder.

Fra flere industriprosesser vil det også avgis kjemiske prosessforurensninger, dels som karbondioksid, men også andre klimagasser forekommer.

Ofte sørger det første foredlingstrinnet bare for basismaterialene som først gjennom videre foredling blir til byggevarer.

Transport til videreforedling avhenger ofte av kompleksiteten i produktet. Høyere kompleksitet innebærer gjerne en mer sentralisert produksjon og således lengre transportdistanser.

De samlede belastningene fra råvareutvinning og foredling benevnes gjerne som primære belastninger. I Tabell T1.2 er data for primærbelastninger samlet for utvalgte materialer.

Kildegrunnlag fra Norge og Sverige er prioritert, men også noen andre europeiske kilder er medtatt. Her vil variasjonene i blant annet belastningene fra elektrisitetsforbruket variere stort.

Bare et fåtall av kildene kan regnes som komplette. Omlag halvparten har ikke innregnet belastninger fra elektrisitetsproduksjon. Dette gjelder i første rekke norske kilder. Og relativt gjennomgående er det bare regnet med utslipp av karbondioksid, mens andre

klimagasser er oversett. Dette vil være særlig utslagsgivende for aluminiumsprodukter som har et betydelig prosessuelt utslipp av PFK-gasser.

Hvis produktenes brennverdi helt eller delvis er gått tapt, eksempelvis ved bruk av flammehemmere, er det vanlig å legge dette til i primærenergiforbruket. Eventuelle klimakonsekvenser av tapt brennverdi er normalt ikke berørt.

Studie	Nasjonalitet	Elektrisitetsproduksjon belastet	Klimabelastning utover CO ₂ inkludert	Ref.identitet
Fossdal 1995 ⁶	Norge	nei	nei	F1
Gielen 1999	Nederland	ja	nei	G1
Haggarsson 1999 ⁷	Sverige	delvis	delvis	H1
Häkkinen 1999	Finland	?	nei	H2
Kohler 1994	Sveits	ja ⁸	ja	K1
Krogh 1995	Danmark	ja	nei	K2
Opdal 1997	Norge	nei	nei	O1
Petersen 2002/2	Norge	nei	nei	P1
Petersen 2002/3	Norge	nei	nei	P2
Tillmann 1995	Sverige	?	nei	T1
Weibel 1995	Sveits	ja ^{9,10}	ja	W1

Tabell T1.1: Kildegrunnlag for primære klimabelastninger

Bare et fåtall av produktene i samleskjemaet er fyllestgjørende presentert, ettersom datagrunnlag mangler. I et visst mon kan belastningsprofiler for disse produktene grovt anslås med bakgrunn i beslektede produkter.

Etttersom belastningsdataene er oppgitt per kilo av de ulike produktene er de ikke umiddelbart sammenlignbare, men må omregnes via forbruk i de enkelte konstruksjonstyper.

Produkt	Vekt [kg / m ³]	Primær energi-forbruk [kWh / kg]	Andel elektrisitet [%]	Klimabelastning Norge [kg CO ₂ -ekv/kg]	Ref	Klimabelastning Sverige [kg CO ₂ -ekv/kg]	Ref	Klimabelastning Europa [kg CO ₂ -ekv/kg]	Ref
TREPRODUKTER									
Laftetømmer	550								
Bjelker og stendere	550	0,83	16	0,04	O1				
Kledningsbord ute	550	0,83	16	0,04	O1				
Kledningsbord inne	550								
Golvbord	550			0,07	P2				
Limtre	550			0,08	P1	0,08	T1		
Massivtre, dyblet	550								
Massivtre, metallforb.	550								
Massivtre, limt	550								

⁶Transport til byggeplass er i utgangspunktet medtatt, men er søkt fratrukket i tabellen

⁷Baserer seg på bearbeiding av diverse norsk, dansk og svensk tallmateriale

⁸Benytter belastning etter europeisk gjennomsnitt UCPTE

⁹For varer produsert i Sveits benyttes nasjonale belastningstall som med stor vekt på vannkraft og atomkraft (ca. 99%) er godt sammenlignbare med norske forhold.

¹⁰Har også inkludert karbonlagring i vegetabilske produkter, men disse verdiene er søkt fratrukket.

Snekkermaterialer	550								
Tropisk tømmer								2-6	G1
Finerplater						0,18	H1	0,35	G1
Sponplater, urealimte	750	0,47	83	0,02	F1	0,19	H1	0,7	G1
Sponsementplater	1200								
Treullsementplater	230							1,0	K1
Trefiberplater, por. u/bit.	300								
Trefiberplater, por. m/bit.	350	2,0	83	0,12	F1				
Trefiberplater, harde u/bit.	900	1,0	83	0,07	F1			1,0	K1
Trefiberplater, harde m/bit.	900								
Trefiberisolasjon	40								
Treplast									
Kartongplater, lam. m/PE	750								
Kartongpl., lam. m/lateks	750								
Celluloseisolasjon	50	6,8	3	0,17	F1				
Plastlaminatplater									
Celluloseplaster									
Tretjære									
Trebaserte alkyder								1,1	H2
Terpentin								0,17	H2
ANDRE									
Aluminium, 50% mat.gj.v.	2 700	16,1	55	1,9	F1				
Aluminium, diverse								1-10	G1
Stål, 100% mat. gj.v.	8 000	1,26	56	0,25	F1			0,5	W1
Stål, 50% mat. gj.v.	8 000								
Stål fra malm	8 000	2,8-3	18	1	F1			1,5	K2
Stål, galvanisert fra malm	7 500								
Stål, rustfritt fra malm	7 800								
Stål, diverse						0,74	H1	1-1,7	G1
Betong	2 400	0,1-0,3	14	0,14	F1	0,11	T1	0,12	K2
Lettklinkerbetong	750	0,6	14	0,23	F1				
Tegl	1 800	0,6-0,7						0,21	K2
Keramiske fliser	2 000							0,23	K1
Gipsplater	900	1,2-1,4	10	0,33	F1	0,26	H1	0,22	K2
Glassull	20	20	38	0,88	F1	0,71	H1	1,6	W1
Steinull	30	11	10	0,77	F1	0,98	T1		
Polyvinylklorid	1 380	15,5	15	0,69	F1			0,5-3	G1
White spirit	1000							0,15	H2

Tabell T1.2: Primære energiforbruk og klimabelastninger for aktuelle produkter i byggebransjen etter kilder som vist i Tabell T1.1. Andel elektrisitet er etter norske data i (Fossdal 1995).

Generelt kan vi slå fast at treprodukter er klimamessig gunstige bortsett fra tropisk tømmer der lange og energikrevende transportveier innebærer tildels meget store belastninger.

Av tabellen ser vi også at materialproduksjonen i Norge og Sverige gjennomgående er mindre klimabelastende enn ellers i Europa. Bakgrunnen er det store innslaget av vannkraft i produksjonen av elektrisk kraft. Som en konsekvens av dette vil også klimaegenskapene til produktene med det høyeste innslaget av elektrisitet i primærenergiforbruket, som sponplater og trefiberplater, være mest utsatt for økt innslag av gassprodusert og importert elektrisitet.

T1.1.2. Byggefase

Byggefasen omfatter stadiene fra produktet hentes ut fra fabrikk til bygningen er klar for innflytting

Lange transportveier innebærer betydelige klimabelastninger, ettersom det vanligvis benyttes diesel veitransport. I noen tilfeller vil de transportmessige klimabelastningene dominere de indirekte belastningene, særlig der lange transportdistanser er kombinert med store materialvolumer og/eller høy vekt.

Materiale	Diesel veitransport [km]	Diesel sjøtransport [km]	Elektrisk jernbane [km]	Klimabelastning [kg CO ₂ / tonn]
Aluminium	240	500		53,8
Stål	60	550	400	35,9
Sement	50	450		28,5
Betong ¹¹	55			6,6
Leca-blokker	25	550		30,5
Gipsplater	225			27
Glass	400			48
Glassull	150	150		25,5
Steinull	150	150		25,5
Tre	200			24
Sponplater	250			30
Cellulosefiber	300	300		51

Tabell T1.3: Gjennomsnitts-transporter og resulterende klimabelastning¹² for de viktigste bygningsmaterialene i bruk i Norge (Fossdal 1995). Materialene er ikke belastet for retur¹³.

Klimabelastningene på byggeplass er normalt marginale i den store sammenheng, og energiforbruket er anslått til ca. 5% av det indirekte forbruket (Fossdal 1995). Energiinnsatsen bak manuelt arbeid beregnes vanligvis til så lite som 0,1 kWh per arbeidstime. Byggeplassbelastningene har således i første rekke utgangspunkt i maskineri basert på fossilt brennstoff, og variasjonene i maskinforbruk er små konstruksjonsmåtene imellom. Unntak vil være vinterbygging med plass-støpte betongkonstruksjoner der behovet for energikrevende kunstig tørking vil være betydelig. Dette aspektet er imidlertid ikke berørt i tilgjengelige livsløpsanalyser og betydningen er således vanskelig å estimere.

Vi skal også være oppmerksomme på at graden av forbehandling kan ha betydning for klimabelastningene i byggefasen ved at prefabrikerte konstruksjonselementer krever mindre arbeidsinnsats. Samtidig vil slike løsninger ofte være mer maskinavhengige.

For alle produkter som inngår i en bygning vil det forekomme et svinn i fasene lagring, transport og montasje. Dette innebærer at materialforbruket er høyere enn det som i siste hånd framkommer ved masseberegning av den faktiske konstruksjonen. Dette svinnet betegnes vanligvis som en tapsfaktor og varierer mellom produktgruppene, men i mindre grad med materialbruken. Her er i mange tilfeller graden av mål-standardisering vel så avgjørende.

¹¹ Gjelder fra betongprodusent og må suppleres med belastning for sement

¹² For lette materialer som leveres i store volumer, som isolasjonsmaterialene, er det grunn til å vurdere å legge inn høyere klimabelastning ettersom fraktkapasitet i vekt per lastebil går ned.

¹³ Dette forutsetter at transportmiddelet har returlast, noe som vil være usikkert mange tilfeller.

T1.1.3 Bruksfasen

Bruksfasen omfatter fasen fra huset er klargjort til innflytting fram til riving påbegynnes.

De indirekte klimabelastningene i driftsfasen er knyttet til vedlikehold og utskifting av produkter. Her er holdbarhet et nøkkelaspekt. En dobling av levetiden på et produkt vil også raskt nærme seg en halvering av klimabelastningene.

For en rekke produkter er det nødvendig med flere utskiftinger gjennom driftsfasen, mens andre igjen vil ha en levetid som potensielt kan strekke seg langt utover driftsfasens begrensninger. Dette er i stor grad materialavhengige forhold. Eksempelvis vil golvbelegg av eik ha betydelig høyere levetid enn tilsvarende i gran eller vinyl. Men levetiden vil også moduleres av utformingen, f.eks. kan konstruktiv beskyttelse av trekomponenter øke levetiden drastisk.

Også andre forhold vil påvirke en bygnings levetid. Viktigst av alt er kanskje tilpasningsdyktighet til nye og endrede funksjoner og bruksmåter. Lite tilpasningsdyktige bygg kan risikere å få redusert levetiden drastisk, og da følger materialene med uavhengig av egen kvalitet.

T1.1.4 Avfallsfasen

Avfallsfasen omfatter stadiene fra riving påbegynnes til avfallet er nøytralisert i naturkretsløpet eller integrert i nye produkter ved ombruk eller materialgjenvinning.

På samme måte som for byggefasen er klimabelastningene under riving marginale og med liten forskjell materialtyper imellom. Selve konstruksjonsmåten kan imidlertid være avgjørende der demonterbarhet og størrelse på komponenter spiller avgjørende roller.

I hovedsak skjer riving maskinelt med dieseldrevet utstyr. Ved såkalt selektiv riving der gjenbruk og materialgjenvinning er fokusert skjer en betydelig større del av rivningsarbeidene manuelt.

Avstanden til anlegg for avfallsbehandling er normalt betydelig kortere enn for tilsvarende transport av nye materialer i byggefasen. Generelt vil produkter som skal spesialdeponeres eller som krever særlig renseteknologi i forbrenningen gi de lengste transportene ettersom anleggene er få og sentraliserte. Også transport til materialgjenvinning eksempelvis av aluminium, mineralull og gips kan kreve betydelig transportinnsats da den nesten uten unntak må gå tilbake til opprinnelig produksjonssted. Effektiv bruk av returlast vil kunne redusere dette noe. Transportbehovet for produkter til gjenbruk, eventuelt via mellomlager vil generelt være lavt og innebære små belastninger.

Selve avfallsbehandlingen er av stor betydning for de indirekte klimabelastningene. Gjenbruk er generelt ønskelig sett fra et klimaperspektiv. Dermed kan klimagasutslippene ved nyproduksjon spares. Materialgjenvinning vil ha samme effekt, om enn i mindre grad, ettersom bare klimabelastninger fram til produksjon av aktuelle basismaterialer spares. Etter en eller flere gjenbruksfaser og et antall materialgjenvinninger er gjennomført vil produktet ubønnhørlig bli sendt til destruksjon ved energigjenvinning eller deponering.

Potensialet for effektiv energigjenvinning er avhengig av renhet i materialsammensetningen. Dette innebærer at det ikke er tilsatt ingredienser som reduserer brennbarheten, eller innebærer andre uakseptable utslipp. Her vil særlig impregnering, maling, lim og sparkel kunne by på problemer. Alternativet vil da raskt bli deponering.

Mineralske materialer vil generelt være klimanøytrale ved deponering. Biomassematerialer vil kompostere med betydelige utslipp av metangass som resultat.

Energigjenvinning av avfallsmasse vil innebære at annen energiproduksjon kan reduseres. Ettersom denne delvis er basert på fossile energikilder vil forbrenning av klimanøytralt treavfall kunne gi reelle klimagevinster. Hvordan dette kan vektlegges i de endelige klimaregnskapene for treprodukter drøftes i Tillegg 2.

T1.2 Interaksjon mellom materialvalg og fundamenteringsbehov

Ettersom et viktig aspekt ved dimensjonering av fundamentering er bygningens vekt, vil bruk av lette konstruksjoner i prinsippet kunne redusere fundamenteringsbehovet. Men vi skal være oppmerksom på at andre forhold kan være vel så avgjørende som bygningens vekt, i første rekke grunnforhold, men også lokale klimaforhold kan spille inn.

Bygningstype/konstruksjon	Myr og leire [kg / m ²]	Sand og stein [kg / m ²]
Enebolig/ lett	150	100
Enebolig/tung	250	100
Flerfamiliebolig/lett	250	100
Flerfamiliebolig/tung	250	100
Kontorbygg/lett	150	100
Kontorbygg/tung	250	100

Tabell T1.4: Grovt anslag for betongforbruk ved fundamentering under ulike grunnforhold i Nord-Europa, etter (Gielen 1997)

I Norge vil grunnforholdene i det store og hele være gode. Ifølge tabell T1.4 vil det således generelt ikke være særlig å hente på en lettere trekonstruksjon. Men i spesielle tilfeller med ustabile grunnforhold kan mengden innspart betong være betydelig.

T1.3 Interaksjon mellom indirekte og direkte klimabelastninger

I fyringssesongen vil tunge bygningskonstruksjoner hente opp og mellomlagre varme fra rommet som i neste omgang gis tilbake når romtemperaturen går ned. Dermed stabiliseres innnetemperaturen og på sommertid med avkjølende effekt. Denne dynamikken medvirker til et lavere energiforbruk. Betydningen er størst i dårlig isolerte bygninger og avhenger av bygningens funksjon, bruksrytmer, solinnstråling og lokale klimaforhold. Det er også avgjørende hvordan den tunge massen er fordelt i bygningskroppen.

Det vil være snakk om døgnutjevning av temperatur. For maksimal lagring av varme fra dag til natt kreves en tykkelse på 10 til 20 cm for de fleste materialer. Varmelagringsevnen varierer fra materiale til materiale, og er dels avhengig av struktur (overgangsmotstand og varmeledningsevne), dels tyngde.

Materiale	Densitet [kg / m ³]	Varmeledningsevne [W / mK]	Varmelagringsevne per volumenheter [kJ / m ³ K]
Betong	2 400	1,5	2 100
Tre	500	0,14	1 150
Tegl	1 500	0,58	1 260
Gipsplate	900	0,22	760
Mineralull	16	0,04	12

Tabell T1.5: Varmelednings- og varmelagringsevne for noen materialer, etter (Gustavsson 1998)

Av tabell T1.5 ser vi at trevirke kan lagre omtrent like mye varme som tegl, men dette vil sjelden være tilfellet i praksis ettersom trevirke vanligvis opptrer i lette bindingsverkskonstruksjoner. I massive trekonstruksjoner kan vi imidlertid regne med å få betydelig større uttelling for varmelagringsevnen.

Hvis materialet er innekket reduseres såvel varmeopptak som varmeavgivelse betydelig. Den tunge massens plassering i konstruksjonen er også avgjørende. Generelt vil lokalisering i innervegger, bjelkelag og innside av yttervegg være mest effektivt.

Utvendig/ Innvendig konstruksjon	Enebolig, direkte energiforbruk [%]	Leilighetsbygg, direkte energiforbruk [%]	Kontorbygning, direkte energiforbruk inkl. kjøling [%]
Lett/Lett	100	100	100
Lett/Tung	85	94	94
Tung/Lett	95	100	98
Tung/Tung	103	103	93

Tabell T1.4: Prosentmessig betydning av konstruksjonsvekten for det direkte energiforbruket i bygninger, avhengig av massens lokalisering. Hollandsk situasjon. Etter (Gielen 1997).

Effekten av høy varmekapasitet er størst ved døgkontinuerlig bruk. I bygninger som bare benyttes deler av døgnet vil lette konstruksjoner ofte innebære lavere energiforbruk til oppvarming, (Szokolay 1997).

Skandinaviske undersøkelser av varmelagringens betydning i boliger med tunge konstruksjoner viser små innsparinger i energiforbruket til oppvarming, sjelden mer enn 2%, (Ståhl 2002)(Myhre 1998).

Vi skal være oppmerksomme på at økt varmeisolasjon av bygninger i årene framover vil redusere betydningen av høy varmekapasitet.

Tillegg 2 Metodikk og datagrunnlag

Formålet med prosjektet er å søke å grovt dimensjonere den aktive substitusjonseffekten av trevirke med bakgrunn i gjennomførte studier der produkter, konstruksjoner og bygninger i trevirke sammenlignes med andre alternativer, i første rekke stål og betong. De aktuelle studiene tar ofte for seg hele bredden i miljøbelastningene der også forhold som biologisk mangfold, miljøtoksitet m.m. utredes og til slutt evalueres i samlende miljøprofiler. Men det er sjeldent vanskelig å skille ut klimabelastningene som blant annet har fordelene av å være kvantifiserbare i motsetning til mange andre miljøparametre der kvalitative vurderinger ofte må legges til grunn¹⁴.

I de aktuelle studiene av nyere dato er det sjelden store forskjeller i metodebruken. Valg av systemgrenser og datagrunnlag kan imidlertid ofte oppvise store variasjoner. I bearbeidningen av materialet har det således vært nødvendig å forholde seg til noen samlende konvensjoner som samtidig sikrer relevansen for norske forhold. For de enkelte kildene er dette beskrevet nærmere i Tillegg 7 Bibliografi.

T2.1 Variasjoner i kildegrunnlaget

T2.1.1 Karakteristikk

Det er lagt vekt på studier av nyere dato, helst yngre enn 1990. Eldre studier kan være basert på utdatert metodikk og foreldede data for blant annet produktjonsbelastning.

For å sikre relevansen er det også tatt sikte på å benytte Skandinaviske kilder, men også andre nord- og mellomeuropeisk kilder er medtatt, særlig fra land som klima- og ressursmessig er sammenlignbare.

Avhengig av problemstilling er studiene generelle eller spesifikke. Sistnevnte tar utgangspunkt i et spesifikt prosjekt på en definert lokalitet. Belastningene forholder seg dermed til de mest relevante levrandørene, konkrete transportdistanser etc. I generelle studier er hensikten å finne fram til mer overordnede og gjerne nasjonale perspektiver der gjennomsnittlige belastninger for produktalternativene, gjennomsnittlige transportdistanser etc. er lagt til grunn.

Studier som tar for seg såvel bygningsdeler som hele bygninger er vanligvis relatert til hustyper. Ulike hustyper har ulike bruksmåter og funksjonsstandarder og kan ikke umiddelbart sammenlignes.

Også design vil selvsagt være avgjørende. Her er parametre som tilpasningsdyktighet etc. viktige, men aldri berørt i studiene.

¹⁴Enkelte kilder som (Winter 1999) og (Adalbert 2000) tar bare for seg energikonsekvensene av ulike byggemåter, men er til gjengjeld såvidt grundige at det var fristende å bruke dem som basis for en grov kalkulasjon av energirelatert klimabelastning. Dette ble likevel droppet ettersom usikkerhet ved fordelingen på energikilder ville bli for stor.

T2.1.2 Funksjonelle enheter

Etablering av funksjonelle enheter er en forutsetning for sammenligninger av alternative produkter og konstruksjoner.

For produkter er det vanlig å forholde seg til klimabelastningen uttrykt som kg CO₂-ekvivalenter per kg. For bygningdeler tar man gjerne utgangspunkt i arealenheten m² vegg, golv, tak, m.m. og for bygninger m² bruksareal (BRA), slik at klimabelastningen oppgis i kg CO₂-ekvivalenter per m².

I tillegg trekkes tidsaksen inn i form av forventet levetid for konstruksjonen. I Norge og Sverige settes denne normalt til 50år, i Tyskland 80år. Gjennom levetiden skal standarden opprettholdes (teknisk, økonomisk, estetisk) ved at produkter vedlikeholdes og fornyes.

Innen disse rammene forutsetter livsløpsanalysene at konstruksjonene som sammenlignes oppfyller samme funksjon, eksempelvis med hensyn på brannegenskaper og isolasjonsverdi. Det er således nesten alltid nødvendig med *kompletterende materialer*, som inkluderes i sammenligningene. Dette innebærer at også klimaeffekten av disse må tas med i regnskapet. Nasjonale byggeforskrifter er normalt standarden for nødvendig komplettering. I noen tilfeller vil man imidlertid ha gått utover disse, eksempelvis i lavenergihus. Vi skal også være oppmerksomme på at eldre studier ofte vil ha lavere standarder, eksempelvis på varmeisolasjon. Og i utenlandske studier kan standardene være lavere enn i Norge.

T2.1.3 Systemgrenser

I livsløpsregnskapet settes det opp et regnskap for inngangsfaktorer til og utgangsfaktorer fra et produksjonssystem. Man skal altså i prinsippet følge alt avfall/biprodukter som oppstår underveis fram til de igjen forsvinner i naturen.

Avhengig av formålet med de ulike studiene blir det i praksis likevel innført ulike systembegrensninger. Blant annet vil andelen av livsløpet som undersøkes variere og også hvilke prosesser som medtas innen de ulike stadiene.

I studiene er det vanlig å utelate enkelte marginale prosesser, som arbeidsreiser, produksjon og vedlikehold av produksjonsmaskiner og lokaler m.m.

Man ser også gjerne bort fra materialer som benyttes i mindre kvanta enn 1% (vekt) i det endelige resultatet. Her er det selvsagt en risiko for at sterkt belastende enkeltmaterialer som aluminium og organiske løsemidler kan unslippe regnskapet.

Materialstrømmene vil i mange tilfeller overskride enkeltbygningens livsløp. Dette gjelder i første rekke når rivningsavfallet går til materialgjenvinning og gjenbruk.

Fordelingen av inngangs- og utgangsfaktorer mellom bruksgenerasjonene skjer ved *allokering* ved "cut-off" eller etter "50/50"-metoden.

"Cut-off" innebærer at hele miljøbelastningen fra råvareproduksjonen tillegges primærproduktets produksjonssystem (det første huset) mens miljøgevinsten ved gjenbruk og materialgjenvinning godskrives påfølgende husgenerasjoner.

"50/50"-metoden fordeler såvel belastninger som gevinster på alle de involverte husgenerasjonene.

T2.1.4 Datagrunnlag

Valg av datagrunnlag i en livsløpsanalyse kan være utslagsgivende for resultatet. Blant annet vil måten energiaspektet behandles på være av stor betydning og her kommer elektrisitetsforbruket i en særstilling. I flere norske studier har elektrisitetsproduksjon fra ren vannkraft vært lagt til grunn (Fossdal 1995 og 1999). I virkeligheten vil elektrisiteten i det norske nettet være oppspedd med importerte andeler basert på fossile energikilder og således innebære klimabelastninger. Men for de fleste andre landene i Europa vil fossilandelen selvsagt være adskillig høyere og vi må ta dette i betraktning når resulater sammenlignes land imellom.

Land	Klimabelastning [g CO ₂ -ekv. / kWh]
Danmark	901
Finland	275
Norge	28
Sverige	34

Tabell T2.1: Klimabelastninger ved bruk av elektrisk kraft i Norge og naboland. Etter (Fossdal 2002)

I studier der energigjenvinning i avfallsfasen er behandlet blir energien som hentes ut ved forbrenningen, ofte tilgoderegnet produktet. Men grunnlaget for beregningen kan variere. Man kan eksempelvis ta utgangspunkt i at energigjenvinningen erstatter fossile eller dels fossile dels fornybare energikilder. Valget vil være meget utslagsgivende for beregningsresultatet.

Deler av materialproduksjonen er idag basert på materialgjenvinning som reduserer råvarebehandlingen og således også klimabelastningene. I første rekke gjelder dette metallindustrien, men også gips og mineralullindustrien baserer seg i stadig større grad på materialgjenvinning.

Gjenvinningsandelen varierer mye fra fabrikk til fabrikk og fra land til land og således også studiene imellom.

T2.2 Valg av forutsetninger og datagrunnlag i forprosjektet

T2.2.1 Introduksjon

For å kunne foreta en samtlende bearbeiding av ulike kilder er det nødvendig å etablere et felles data- og vurderingsgrunnlag. Dette har bare i begrenset grad vært mulig i forprosjektet i første rekke p.g.a. manglende transparens i mye av kildematerialet. Et stykke på vei er ulike bearbeidinger likevel gjennomført, se bibliografi i Tillegg 7.

Av størst betydning vil være energiaspektene i datagrunnlaget, energigjenvinning og vurderingen av konstruksjonenes varmelagringsevne.

T2.2.2 Datagrunnlag for energibruk

Det er her tatt utgangspunkt i ferskest mulige data for relevant energiutstyr og energiråvarer.

Brensel/energibærer	Klimabelastning [g CO ₂ -ekv. / kWh]
Elektrisitet fra offentlig nett i Norge	28
Fjernvarme, gj.sn. i Norge	181
Varme fra biomasse	0
Varme fra naturgass	180
Varme fra lett fyringsolje	254
Varme fra tung fyringsolje	278

Tabell T2.2: Spesifikk klimabelastning for stasjonær energiproduksjon. Etter (Fossdal 2002) og (Petersen 2002).

Transportmiddel	Klimabelastning [g CO ₂ / tonn km]
Fly	1600
Diesel Veitransport	120
Diesel sjøtransport	50
Diesel jernbane	18
Elektrisk jernbane	7

Tabell T2.3: Spesifikk klimabelastning for transportmidler. Etter (Fossdal 1995) og (Beyer 2001).

Brensel	Energiinnhold [kWh / kg]
Diesel	10
Bensin	9
Heltre og gjenvinningsvirke	3,8
Flis og spon	1,9
Torv	2,5
Halm etc.	4

Tabell T.2.4: Spesifikt energiinnhold i ulike brenslere, etter (Petersen 2002/2) og (Beyer 2001)

T2.2.3 Godskriving av energigjenvinning

Det vil være flere mulige innfallsvinkler for vurdering av energigjenvinning.

Materialer basert på fossile råstoffer og biomasse vil i utgangspunktet være utstyrt med en brennverdi. I bearbeidingen til produkter vil denne ofte beslaglegges ved at det tilsettes brannhemmere, impregneringsmidler og andre stoffer som reduserer brennbarheten. I energiregnskaper for produkter er det da vanlig å legge til den tapte brennverdien som en "energiutgift".

Ved energigjenvinning i avfallsfasen vil det gjenværende energiinnholdet i produktene utnyttes og for biomassematerialer er det vanlig å godskrive produktene for dette (Petersen 2002) (Gustavsson 2001), selv om man strengt tatt bare har utnyttet mellomlagret

brensel. Innfallsvinkelen blir imidlertid rimelig akseptabel hvis vi tenker oss at det uthogde arealet raskt har blitt gjenplantet.

I forprosjektet er gevinsten av energigjenvinning fra treprodukter søkt skilt ut i regnskapene i substitusjons-scenariene i kapittel 6. Når energigjenvinningen er godskrevet, tas det utgangspunkt i at det klimanøytrale biobrenselet erstatter normal norsk energiproduksjon der 70% er fra vannkraft og 30% fossile brensler, (Petersen 2002). Substitusjon til biobrensel sparer dermed klimagassutslipp i størrelsesorden ca. 0,1kg CO₂-ekv. per kWh .

Brennverdien for de ulike treproduktene varierer noe. Med normal virkningsgrad i forbrenningsutstyr vil den faktiske brennverdien for tre- og treprodukter variere fra 2 til 2,75 kWh per kg, (Petersen 2002/2 og 3) m.fl.. For produkter tilsatt mindre mengder brannhemmende stoffer vil potensialet være lavere, eksempelvis ca. 1,5 kWh per kg for cellulosefiberisolasjon (Krogh 2001). Ettersom heltreproduktene dominerer i markedet er det ikke urelevant å ta utgangspunkt i en gjennomsnittlig brennverdi på 2,5 kWh per kg for det samlede avfallet.

T2.2.4 Godskriving av varmelagringssevne

I kapittel T1.3 slås det fast at varmelagringssevnen i ulike materialer vil kunne være avgjørende for energiforbruket og således de direkte klimabelastningene om enn i varierende grad mellom hustyper og funksjoner. I forprosjektet skilles det bare mellom tunge og lette konstruksjoner selv om dette relativt sett ikke vil kompensere rene betongkonstruksjoner fullt ut. Tunge boliger godskrives med reduserte oppvarmingsbehov på 2% og andre oppvarmede bygninger med 5%. I blandingskonstruksjoner utgjør bjelkelag, yttervegger og innervegger omlag like store arealer, og tunge løsninger er godskrevet med 33% hver.

For dimensjonering av reduserte klimabelastningene er det tatt utgangspunkt i fordelingen på driftsmessige energikilder i den norske bygningsmassen der henholdsvis 85% er basert på elektrisk kraft og resten med 7,5% hver på biobrensel og olje, (Bramslev 2000). Dette gir en redusert klimabelastning på ca. 0,04 kg CO₂-ekv. per innspart kWh. Tilsvarende ved ren oljefyring og fossilt basert elektrisitetsproduksjon vil være ca. 0,4.

Dermed vil betydningen av høy varmekapasitet være drastisk høyere i land der energiproduksjonen er basert på fossile energikilder.

Hustyper	Energiforbruk oppvarming [kWh / m ² 50år]	Innspart oppvarmingsbehov [%]	Redusert klimabelastning, Norske forhold [kg CO ₂ -ekv./ m ² 50år]	Redusert klimabelastning, oljebasert energibruk [kg CO ₂ -ekv./ m ² 50år]
Eneboliger	6 600	2%	5,3	56,7
Blokkleiligheter	5 650	2%	4,5	48,6
Andre oppvarmede bygninger	6 350	5%	12,7	136,7

Tabell T2.5: Grunnlag for godskriving av høy varmekapasitet for tunge konstruksjoner i ulike bygningstyper, angitt som redusert klimabelastning over 50 år. Basisforbruk til oppvarming er hentet fra (Erlandsson 2003).

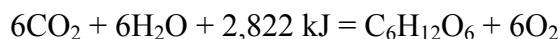
Tillegg 3 Planter i karbonsyklusen

T3.1 Karbonsyklusen

T3.1.1 Overordnede prosesser

Gjennom naturlige biologiske og kjemiske prosesser flyttes karbon kontinuerlig mellom biosfæren og lufta og utgjør den globale karbonsyklusen der havet representerer det desidert største karbonreservoaret.

Planter inneholder karbon i form av karbohydrater i sukker, stivelse og cellulose. Dette er de viktigste nærings- og lagringsstoffene i organismene. Sukker dannes i plantenes grønne deler av karbondiksid CO_2 fra luft og vann under solbestråling i fotosyntesen, etter formelen:



Under denne prosessen blir det frigjort oksygen. Planten forvandler senere sukkeret hovedsakelig til cellulose og stivelse. Med cellulosen bygges cellene opp, mens stivelsen lagres. Når planten dør, reduseres karbon tilbake til CO_2 . Oksygen er en nødvendig del av denne prosessen. Med redusert tilgang på oksygen brytes plantene ned til torv og mye av karbonet vil omdannes til metan, CH_4 .

Om natten gis deler av karbonet som er bundet på dagtid, tilbake ved ånding. Likevel absorberer planter i vekst mer CO_2 på dagtid enn det slippes ut på natten. For trær følger karbonopptaket en såkalt S-kurve. Dette innebærer at opptaket øker sterkt den første tiden av livssyklusen, for deretter å flate ut. Etter å ha nådd en viss alder, ca 60-110 år for gran og furu, vil treet komme i likevekt ved at CO_2 -utslippene om natten vil være lik CO_2 -opptakene på dagtid.

Globalt regner man med at det årlige opptaket av CO_2 i vegetasjon overstiger åndingen med ca. 13 000 mill. tonn karbon. Dette er mer enn det dobbelte av det samlede beregnede utslippet av karbon fra menneskeskapte prosesser (IPCC 1995), men blir nesten utlignet av nedbygging av skog i tropiske områder.

T3.1.2 Planteprodukter i karbonsyklusen

Planter som høstes vil for en stor del bestå av karbon som er bundet gjennom veksten. Og dette karbonet vil være inntakt i produktet fram til det forbrennes eller komposteres.

Det er vanlig å regne karboninnholdet i tørre planteprodukter til ca. 50% (Flugsrud 2001). I innblandede materialer vil karboninnholdet være lavere, eksempelvis 40% i papir med mineralske fyllmaterialer (Berg 2002). 1 kg karbon representerer en binding av 3,6kg CO_2 . En kilo tørt plantemateriale holder dermed på ca. 1,8 kg CO_2 . Plantebaserte produkter med lang levetid vil således mellomlagre karbon, noe som regnes som positivt i klimasammenheng, ettersom det vil bidra til å vinne tid til å utvikle og implementere enda mer kraftfulle og kanskje permanente tiltak for å balansere ut drivhusgassene.

Fuktinnhold	Bundet karbondioksid i trevirke [kg CO ₂ / kg]
0%	1,87
8%	1,73
12%	1,67
18%	1,28
20%	1,56
30%	1,44
100%	0,94

Tabell 2.1: Bundet karbondioksid i rene planteprodukter med varierende fuktinnhold, etter (Beyer 2001), (Esser 1999).

Ved forbrenning av utrangerte plantematerialer vil CO₂ gis tilbake til atmosfæren, men ikke i større mengder enn det som i utgangspunktet ble bundet i produktet. Biobrensel regnes således som klimanøytralt og vil kunne erstatte energiproduksjon med fossile brennstoffer.

Hvis kasserte planteprodukter deponeres på fylling vil mye av karbonet etterhvert omdannes til metangass CH₄ på grunn oksygenunderskudd. CH₄ er en sterkere drivhusgass enn CO₂, men produktet vil fortsatt være i balanse. Nedbrytingsprosessen for trevirke kan gjerne ta opp til 150 år med en halveringstid for utslippene av CH₄ på ca.11 år (Petersen 2002/2).

Ved å gjenbruke og materialgjenvinne gamle trematerialer bevares karbonlageret inntakt i nok en bruksperiode.

Tillegg 4 Trevirke: Råvarer

T4.1 Råstoffer av trevirke

T4.1.1 Trevirkets egenskaper

Trevirke er lett å bearbeide og forener egenskapene lav vekt, lav varmeledningsevne og høy elastisitet. Det er samtidig hygienisk med gode fuktregulerende evner.

Med utgangspunktet i sitt høye karboninnhold innebærer trevirke samtidig brannrisiko og er generelt utsatt for biologisk nedbryting som del av karbonkretsløpet.

De tekniske egenskapene varierer noe med treslag, alder og vekstforhold. Også tidspunkt for høsting kan spille inn. Gjennom årstidene varierer blant annet saftinnholdet i virket, noe som påvirker senere angrep av mikroorganismer, (Thörnquist 1990).

Treslag	Alltid tørt	Beskyttet utendørs	Ubeskyttet utendørs	I kontakt med jord	Under vann
furu	120-1000	90-120	40-85	5-15	500
gran	120-900	50-75	40-70	5-10	50-100
lerk	1 800	90-150	40-90	10-15	over 1500
einer	?	over 100	100	?	?
eik	300-800	100-200	50-120	15-25	over 500
osp	?	lav	?	lav	høy
bjørk	500	3-40	3-40	under 5	20
lønn	?	?	?	under 5	under 20
ask	300-800	30-100	15-60	under 5	under 20
bøk	300-800	5-100	10-60	under 5	over 300
alm	1 500	80-180	6-100	5-10	over 500
edelgran	900	50	50	?	?
pil	600	5-40	5-30	?	?
poppel	500	3-40	3-40	under 5	?
or	400	3-40	3-40	under 5	?

Tabell 2.1: Antatt holdbarhet angitt i år for trevirke i ulike plasseringer, samlet fra flere kilder etter (Berge 2000)

T4.1.2 Bruksområder

Inntil konstruksjonsstålet ble introdusert i begynnelsen av den industrielle revolusjon har trevirket vært det eneste materialet som mennesket kunne lage et komplett strukturelt rammeverk av. De tekniske egenskapene tillater også bruk i en rekke andre bygningssammenhenger.

Kjemisk sett består tørrstoffet i tre av ca. 50% karbon, 44% oksygen og 6% hydrogen, 0,1% nitrogen og 0,1-1,2% aske. Innbyrdes danner disse bestanddelene ulike stoffer som kan fraskilles og ekstraheres hver for seg i første rekke cellulose som danner utgangspunkt for tapeter og laminater. Oljer og ekstrakter kan benyttes i løsemidler, lim og som basis for bioplaster.

Treslag	Egenskaper	Bruksområder basismaterialer
furu (<i>Pinus sylvestris</i>)	bløt, elastisk, sterk, varig, lett å kløyve og bearbeide, tettere og mer harpiksholdig enn gran, vanskelig å lime og male, kan trykkimpregneres	konstruksjoner, golv, kledninger, vinduer, dører, finer, taktekkning, fundamenter under bakken, plugger
gran (<i>Picea abies</i>)	bløt, elastisk og middels slitesterk, fuktømfintlig, lett å lime og male, vanskelig å trykkimpregneres	konstruksjoner, kledninger, taktekkning, limtre, fiberplater
lerk (<i>Larix decidua</i>)	seig, sterk og varig, god fuktbestandighet, lett å bearbeide	konstruksjoner, bunnsvill, vinduer, dører, taktekkning
einer (<i>Juniperus communis</i>)	seig, fast og meget holdbar, vanskelig å splitte, men ellers enkel å bearbeide	flettverkskledning av ytterveg, plugger
eik (<i>Quercus robur</i>)	tett, tung, hard, slitesterk, elastisk og varig, slår seg lett, middels vanskelig å bearbeide, fuktbestandig	konstruksjoner, golv, vinduer, dører, terskler, plugger, kledninger, taktekkning
osp (<i>Opulus tremula</i>)	bløt og løs ved, loer, står seg mot fuktighet, men er sterkest tørr, slår seg ikke, sprekker ikke ved uttørring, lett å bearbeide	golv, kryssfiner, undertak, mindre konstruksjoner, kledninger, vannrør og -renner, pælefundamenter under bakken
bjørk (<i>Betula pubescens</i> og <i>Betula pendula</i>)	seig, sterk, elastisk, lite fuktbestandig, slår seg lett, enkel å bearbeide	golv, trapper, innvendig kledning, finer, sponplater, never til vanntetting, mindre konstruksjoner
lønn (<i>Acer platanoides</i>)	hard, tett, seig, elastisk, bøyelig, slitesterk, lite fuktbestandig, enkel å bearbeide	golv, rekkverk, trapper, plugger
ask (<i>Fraxinus excelsior</i>)	hard, tett, seig, elastisk, lite fuktbestandig, lett å dampbøye, vanligvis lett å bearbeide	golv, finer, innvendig kledning, trapper, innvendige konstruksjoner
bøk (<i>Fagus sylvatica</i>)	hard og sterk, middels fuktbestandig, lett	golv, rekkverk, mindre konstruksjoner, finer, innvendige kledninger
alm (<i>Ulmus glabra</i>)	sterk, seig, elastisk, varig, fuktbestandig, middels lett å bearbeide	golv, rekkverk, pælefundamenter, trapper, panel, innvendige konstruksjoner
lind (<i>Tilia cordata</i>)	seig, middels sterk, lirte elastisk, lett å bearbeide	mindre konstruksjoner, innvendig kledning, finer
svartor (<i>Alnus glutinosa</i>)	lite holdbar i luft, meget holdbar under vann, myk, lett og sprø, slår seg lett, lett å bearbeide	pælefundamenter, vannrenner, finer, innvendig kledning
hassel (<i>Corylus avellana</i>)	sterk og elastisk, lite holdbar	flettet armering i leirklint åpent bindingsverk
gråor (<i>Alnus incana</i>)	middels holdbar, lett og sprø, lett å bearbeide	innvendig kledning, finer
kirsebær (<i>Prunus avium</i>)	stabil, slitesterk	golvbelegg
plomme (<i>Prunus domestica</i>)	sprekker lett ved tørking	finer
kristtorn (<i>Ilex aquifolium</i>)	hard, homogen, slitesterk	finer
eple (<i>Malus pumila</i>)	hard, homogen, slitesterk, lite fuktbestandig	treskruer, dybler, terskler
hvitpil (<i>Salix alba</i>)	seig, elastisk, lett å kløve	finer, flettverk
rogn (<i>Sorbus aucuparia</i>)	tung, hard, seig, holdbar, slitesterk, lett å bearbeide	flettverkskledning av yttervegg
selje (<i>Salix caprea</i>)	tung, seig, lett å bearbeide	flettverkskledning av yttervegg

Tabell 2.1: Egenskaper og bruksområder for trevirke, konvensjonelle og historiske. Samlet fra flere kilder etter (Berge 2000).

Treslag	Cellulose	Lignin	Hemicellulose heksosaner	Hemicellulose pentosaner	Fett, voks, harpiks
Gran	41,5	28	16,2	8,1	3,5
Edelgran	42,3	28,6	13,3	9,2	2,8
Furu	41,9	29,5	12,8	8,7	3,2
Ask	40,2	26	5,7	19,3	2,2
Bøk	45,4	22,7	4,4	17,8	0,7
Bjørk	40,9	27,3	4,8	22,3	2,2
Or	43,6	24,6	3,7	15,9	2,8
Osp	48,3	21,6	5,1	16,3	2
Pil	42,9	24,7	5,1	16,3	2

Tabell 2.2: Kjemisk sammensetning av forskjellige treslag i prosent av tørrmasse. Etter (Kucera 1999), (Hägglund 1951).

T4.2 Ressursgrunnlag

T4.2.1 Globalt

Omlag 27% av det totale landarealet på jorda er dekket av skog. I tillegg kommer 13% mer glisne skogsområder (Kucera 1999).

Det ble inntil nylig antatt at det globale skogsarealet årlig blir redusert med ca. 100 millioner dekar, ca. 50% mer enn det samlede norske skogsarealet. Nyere satellitregistreringer viser at reduksjonen kanskje ikke er fullt så drastisk (Seip 2002/3), men det dreier seg uansett om betydelige reduksjoner i første rekke i Sør-Amerika, dernest i Afrika og Asia. For Europas vedkommende er skogarealet i vekst i første rekke som følge av økt tilplanting av blant annet gammelt jordbruksland.

Globalt sett går i overkant av 50% av avvirkningen av trevirke til brensel, resten til industrielle formål. Av industrivirket ender ca. 60% opp på sagbrukene som i hovedsak produserer for byggeindustrien.

Etterspørselen etter tømmer og trevirke øker med ca. 1,5% i året i takt med befolkningsøkningen (WRI 2001). Per idag finnes de største potensialene for økt skogsavvirkning i Latin-Amerika, Nord-Amerika og Russland.

T4.2.2 Europa

Totalt i EU-området er ca. 36% av landarealet skogkledd, men Europa har bare ca. 1% av sin originale skog igjen. (Muilerman 2001).

Årlig hogges nesten 500 mill kubm tømmer i de europeiske skogene inkludert Russland (WRI 2001). Dette utgjør 70-80% av tilveksten. Likevel er det et betydelig og voksende underskudd på trevirke, som importeres.

T4.2.3 Norges ressursgrunnlag

I Norge dekker det produktive skogsarealet ca. 75 000 kvadratkilometer og utgjør ca. 24% av landarealet (NIJOS 1999).

Halvparten av volumet er gran, en tredjedel furu og i overkant av 1/5 er lauvtømmer. Av lauvtrærne utgjør bjørk ca. 2/3. Utover dette er gråor og osp mest utbredt.

Skogsvolumet økte kraftig på 1900-tallet og fordoblet seg i perioden 1925 til 1995, fra 312 mill. kubm til 649 mill. kubm (Kucera 1999). Den samlede tilveksten er nå i overkant av 20 mill. kubm i året.

Vi kan også snakke om et *utvidet ressursgrunnlag* som i tillegg til skogbestanden omfatter volum av trevirke i eksisterende bygninger som kan egne seg for gjenbruk eller gjenvinning. Dette bør være av god kvalitet og montert på en måte som gjør gjenvinning og gjenbruk relevant. Gjenbruk er i første rekke aktuelt for konstruksjonsmaterialer og i noen grad kledninger og golv fra eldre bebyggelse som benyttes som de er, evt. i oppdelt tilstand. De fleste trevarer kan energigjenvinnes eller males opp og materialgjenvinnes til råstoff for foredlingsindustrien.

I bygninger oppført etter 2. verdenskrig er innslag av lim, impregnering og ulike overflatebehandlinger såvidt dominerende at mye av ressursverdien knyttet til gjenbruk og gjenvinning må anses som tapt. Det samlede treinnholdet i den norske bygningsmassen ble anslått til 21,4 mill. tonn i 1998 (Flugsrud 2001), men på langt nær alt dette kan derfor regnes som del av ressursgrunnlaget.

Treslag	Stående volum [1000 m ³]	Tilvekst [1000 m ³]
Ask	1 400	45
Bjørk	93 000	3 000
Eik	5 000	160
Osp	11 000	320
Or	11 800	495
Bøk	500	15
Furu	215 000	6 500
Gran	300 000	12 000
Sitkagran	1 600	110

Tabell 2.3: Stående volum og tilvekst i den norske skogen, angitt i rundvirke etter (Kucera 1999).

T4.2.4 Ressursutnyttelse

I norske skoger ble det i 2002 avvirket ca. 8 mill. kubm rundvirke inkludert uttak til brensel på 0,7 kubm, som er det laveste hogstvolumet på 25 år (Statistisk Sentralbyrå 2003). Halvparten gikk til sagbruk og trevareindustri, en nedgang på 7% fra året før, mens andelen til trefiber- og sponplateindustrien viste en svak oppgang. Det ble også eksportert mer virke enn tidligere. Nesten 75% av virket som hogges er gran, ca. 20% furu, mens lauvtrær utgjør i underkant av 5%.

Spørsmålet om bærekraftig ressursutnyttelse er under stadig diskusjon. Bare ca. 1,5% av det norske skogsarealet er vernet, mens flere forskere mener at min. 5% bør vernes for å sikre nødvendig biologisk mangfold.

T4.2.5 Import og eksport av biomasse

Handelen med tømmer mellom landene rundt Østersjøen har tiltatt kraftig i de senere år og vi opplever også at sluttproduktene omsettes i stadig mer globaliserte markeder.

I Norge er importen av treprodukter høyere enn eksporten. Dette er en utvikling som forsterker seg fra år til år. Importen domineres av papirindustrien og andre industrier med høy foredlingsgrad. For produksjon av virke til bygningsindustrien er eksporten fortsatt større enn importen (Veum 2001). Likevel blir det aller meste av lauvtrevirket importert. Det er også en tiltagende import av finer, tredører og innredningsprodukter. Importen av regnskogsvirke økte så mye som 40% fra 2000 til 2002 selv om forbruket fortsatt er lavt i forhold til mange land i EU.

Import av trevirke og treprodukter innebærer ofte lengre transportveier og således høyere utslipp av klimagasser. Det er i mange tilfeller også spørsmål om ressursutnyttelsen som ligger til grunn for importen kan regnes som bærekraftig. Særlig gjelder dette tropisk virke. Importert bartrevirke kommer i stor grad fra skoger i Russisk Karelen, eventuelt via Finsk bearbeiding.

Tillegg 5 Treproduktenes klimabelastninger

T5.1 Klimabelastninger gjennom livsløpet

T5.1.1 Introduksjon

Klimabelastninger knyttet til produkter vil i første rekke ha utgangspunkt i energibruk basert på fossile energiresurser. Generelt øker belastningene med foredlingsgraden og omfanget av tilsetninger. Men også aspekter som holdbarhet, brennverdi og gjenbrukbarhet i avfallsfasen er av stor betydning. Disse forholdene er nærmere problematisert på et generelt nivå i Tillegg 1 og 2.

Gjennom dyrknings- og høstingsfasen følges alle treproduktene ad, men skiller lag i den videre bearbeidingen.

T5.2 Råvareutvinning

T5.2.1 Kultivering

Kultiveringsmulighetene for de ulike treslagene følger klima og jordsmon.

Produksjon av kunstgjødsel er relativt energikrevende, men bare 2% av skogsarealet i Norge kunstgjødles (Kristensen 1999), og skjøtselen innebærer lave klimabelastninger. Det er imidlertid en tendens til økt bruk av mekanisert markbearbeiding, rydning og løvbekjempning basert på fossile energikilder.

Vekstforholdene for de ulike treslagene er avgjørende for kvaliteten på virket og således levetiden på produktene. Dette vil et stykke på vei påvirke den senere klimabelastningen.

T5.2.2 Hogst og uttransportering

Høsting innen skogbruket foregår i stor grad maskinelt. Det er en klar tendens til at mindre arbeidskrevende hogst med hogstmaskin benyttes der skogen er egnet for det.

Etter at hesten ble borte på 1970-tallet fraktes tømmeret ut til samlesteder med landbrukstraktor eller lassbærer og sorteres grovt for videre distribusjon.

Mens tømmerdriften er ansvarlig for ca. 8-10% av det produksjonsmessige energiforbruket i ordinær trelast vil tilsvarende andel av klimagassutslippene kunne overstige 50%, tilsvarende over 10kg CO₂ per kubm (Fossdal 1995). Bakgrunnen er at det nesten utelukkende benyttes fossile brennstoffer i denne fasen, og omfanget er betydelig.

Det er vanlig å etterlate hogstavfall i skogen for å styrke næringsgrunnlaget for nyplanting og gjenvekst. Det er anslått at en energiutnyttelse av dette skogsavfallet vil kunne redusere de samlede klimagassutslippene i Europa med 4 til 6% (UIFRO 2002). Men det er usikkert hvor mye som kan realiseres uten at det går utover jordsmonnet.

T5.2.3 Transport til foredlingsbedrift basisråvarer

Produksjon av trelast skjer gjerne på lokale sagbruk. Gjennomsnittlig transportavstand for rundtømmer ble på midten av 1990-tallet anslått til 45km med fordelingen 98% lastebil og 2% tog (Fossdal 1995). Dette representerer ca. 14% av klimagassutslippene forbundet med produksjonen av trelast, tilsvarende 2,8kg CO₂-ekv. per kubm..

Direkte transport fra opplagsplass til andre mottagere, som fiber- og kjemirelatert industri, vil innebære større avstander ettersom slike bedrifter er færre i antall og vanligvis sentralt lokalisert.

T5.3 Foredling

T5.3.1 Produktområder

Alle deler av tømmeret blir normalt utnyttet. I et sagbruk blir omlag halve stokken brukt til produksjon av skurtømmer, mens resten i form av biproduktene bark, flis og spon går til energiutnyttelse, papir-, plate- eller kjemikalieproduksjon.

Vi kan i utgangspunktet inndele treproduktene etter bearbeidingsgrader på råvaren i følgende hovedgrupper:

- heltreprodukter
- finer, flis og fiber
- cellulose
- ekstrakter

Produktgruppene går gjerne noe over i hverandre og et produkt kan ofte inneholde ingredienser fra flere av gruppene, eksempelvis laminatgolv med heltre på sponplatekjerne. Mange produkter vil også inneholde andre materialtyper, eksempelvis lim og sement.

T5.4 Heltreprodukter

T5.4.1 Forbehandling

Trevirket blir sendt gjennom ulike stadier av forbehandling før det kan regnes som byggevarer. For de fleste produktene vil barking, saging, tørking, justering og høvling være obligatoriske. I tillegg impregneres en andel av virket. Og metoder for varmebehandling,

mekanisk og kjemisk modifisering er på full fart inn i bransjen. Det er blant annet snakk om å forbedre fuktbestandighet, slitasjestyrke og brannfasthet.

Barking og saging. Tømmerstokken blir barket og oppdelt til skurlast avhengig av bruksområdet. Sagbrukene er som oftest basert på elektrisk kraft og forbruker en energimengde i størrelsesorden 11-12 kWh per m³ (Fossdal 1995).

Tørking. Friskt tre har i snitt et fuktinnhold på 80%. Det ferdigsagede virket blir alltid tørket før videre behandling, i første omgang til 20%. Dette skjer gjerne ved sagbruket uten ekstra transport. Energibehovet er ca. 330 kWh per kubm trelast og representerer den største enkeltenergiinnsatsen gjennom foredlingsprosessen (Fossdal 1995). I et visst mon skjer dette med oljefyring og elektrisk energi, men andelen av tørker basert på egen flis, kapp og bark som brensel har vært stigende de senere år og utgjør nå ca. 80% til 90%.

Ettersom tørkeprossene er lavtemperaturprosesser kan også soloppvarmede tørker benyttes. Et annet klimanøytralt alternativ er utetørking i stabel som fortsatt benyttes ved flere gårdssager, og fuktinnhold ned mot 17% kan oppnås ved vår/sommer-tørking (Frøstrup 1991)¹⁵.

Justering og høvling. Store deler av skurlasten justeres ved høvling på minst to kantsider, Planker og bord blir gjerne høvlet på alle fire sider til høvlast og i tillegg ofte profilert, eksempelvis med not og fjær. Klimabelastningen er som for saging.

Impregnering. Deler av trelasten impregneres mot brann og biologisk nedbryting. Og det benyttes ulike metoder for overflate- og trykkimpregnering.

Ved brannimpregnering gjøres virket ubrennbart. Dermed reduseres mulighetene for energigjenvinning og man går glipp av den klimamessige substitusjonsgevinsten ved at biobrensel erstatter annen energiproduksjon.

Impregnering mot biologisk nedbryting vil ofte ha tilsvarende konsekvenser. På grunn av høyt giftinnhold i de fleste impregneringsmidlene, kan slikt virke bare forbrennes ved temperaturer over 800 grader, og energiutbyttet blir lavt. I Norge tar sementindustrien seg av denne jobben og transportveiene er lange.

Varmebehandling øker resistensen mot sopp og råte ved at lignin blir omdannet til fenoler og hemicellulose til aldehyder (Sundquist 2003). Varmebehandlet virke kan således langt på vei erstatte tradisjonell impregnering. Prosessen tar 24 timer og temperaturen er 200-250grader. Biobrensel kan benyttes som energikilde, og i avfallsfasen kan virket energigjenvinnes på vanlig måte.

Mekaniske modifisering. Ved komprimering av ved med fuktinnhold 6% under oppvarming og trykk øker styrkeegenskapene og fuktbestandigheten samtidig som veden blir plastisk og kan formes. Prosessen tar 30 minutter ved 200 grader og 25 bar. Oppvarmingen kan foretas med biobrensel, mens trykk-kraften kan etableres med elektrisitet. Virke som ellers er ubehandlet kan energigjenvinnes på vanlig måte.

Kjemisk modifisering. Vi skiller mellom kjemisk modifisering der det dannes og ikke dannes en bindingsreaksjon mellom trevirket og tilsetningskjemikaliene (Kucera 1999). Den første prosessen foregår ved såkalt acetylering og fører til at trematerialene blir mer

¹⁵Tørketiden kan beregnes i antall måneder ved å multiplisere materialtykkelsen i centimeter med 3,2 for gran og 4,5 for furu (Frøstrup 1991). Trærne kan også tørke på rot ved å la de stå 6-18 måneder etterat barken på den nedre del av stammen er fjernet. Slikt virke kan benyttes med det samme.

dimensjonsstabile og motstandsdyktige mot biologisk nedbryting. Den andre prosessen innebærer at cellenes hulrom oppfylles med inntil 90% (vekt) plastmonomerer som etter oppvarming og gammabestråling danner en plastpolymer i veden. Dermed oppnås økte styrkeegenskaper og dimensjonsstabilitet. Det er også vanlig å supplere med fargestoffer, brannhemmere og biologiske gifter.

Klimakonsekvensene av acetylering er ikke klarlagt, men energigjenvinning er trolig uproblematisk. Plastmodifisert virke vil imidlertid ha åpenbare problemaspekter. Vinylmonomeren som benyttes innebærer betydelig klimabelastning i produksjonen. Og i avfallsfasen vil såvel materialgjenvinning som energigjenvinning trolig være lite uaktuelt.

Arbeidoppgaver og energiforbruk	Alternative energikilder/-bærere	Klimabelastning [kg CO ₂ -ekv. /m ³]
Barking og saging, 12 kWh per m ³	Elektrisitet	0,4
	Direkte vannkraft	0
Tørking, 300 kWh per m ³	Oljefyr	93
	Elektrisitet	12
	Biobrensel	3
	Soltørke	3
	Utetørking,	0
Justering, 6 kWh per m ³	Elektrisitet	0,16
	- ingen justering	0
Høvling, 13 kWh per m ³	Elektrisitet	0,4
	Direkte vannkraft	0
- ingen høvling	-	0

Tabell T5.1: Klimabelastning ved aktuelle forbehandling av trevirke. Elektrisitetsforbruk til viftedrift (95kWh per kubm) er inkludert for alle tørkemeterer untatt utetørking, etter bl.a (Fossdal 1995).

T5.4.2 De ulike heltreproduktene

Laftetømmer

Bruksområde: Bærende veggkonstruksjoner

Produksjon: Gran, furu, ask og lerk egner seg (Hay 1995). Tømmeret tørkes til ca. 18% og bearbeides manuelt eller maskinelt. Høyere fuktighet kan gi økt krymp/synk i konstruksjonen

Klimabelastning: Det er en betydelig import av finske og baltiske lafteprodukter. Likeledes er produksjonen i Norge relativt sentralisert, og et vesentlig transportenergiforbruk må påregnes.

Standardiserte lafteprodukter er velegnet for gjenbruk, material- og energigjenvinning i avfallsfasen, men det forutsettes at det ikke er brukt behandlinger som reduserer disse mulighetene.

Plank, bjelker og stendere

Bruksområde: Ulike horisontale og vertikale lettverkskonstruksjoner.

Produksjon: Vanligvis justert skurlast tørket til 18-20%. Konstruksjonsvirke fra små sagbruk blir ofte hverken justert eller høvlet. Dette har liten teknisk betydning, men kan ved mangelfull tilpasning medføre utettheter i bygningskroppen og således økt driftsmessig energiforbruk.

Klimabelastning: Blir produsert lokalt en rekke steder med moderate transportdistanser. Gjennomsnittlig transport til forbruker er anslått til ca. 200km (Fossdal 1995). Dette skjer for størstedelen med dieseltransport og en klimabelastning på ca. 20kg CO₂ per kubm.

Større dimensjoner vil være egnet for gjenbruk og materialgjenvinning forutsatt enkel demonterbarhet. De kan også deles opp og benyttes i andre produkter, eksempelvis massivtre og nytt limtre (Nylander 1999). Med unntak av impregnerte produkter er de vanligvis velegnet for energigjenvinning ettersom det ellers sjelden forekommer problematiske overflatebehandling.

Bord

Bruksområde: Kledninger og golv

Produksjon: Innvendige kledninger og golvbord foreligger som profilert høvellast. Utvendig kledning leveres i spekteret ujustert skurlast til profilert høvellast. Innvendige kledninger er normalt nedtørket til 17% og golv fra 6-17%. Utvendig kledning leveres vanligvis med fuktkvote 18%. Spesieltørket virke blir pakket i plast, oftest polyetylen krympefolie.

Klimabelastning: For ytterkledning vil oppdelingsmetode være bestemmende for holdbarhet og således klimabelastning. Det er f.eks. dokumentert at panel skåret med stående årringer varer lengst, og generelt holder kledningen seg best med margside ut (Godal 1994/1). I konvensjonell drift på sagbruk og høvlerier er dette sjelden ivaretatt, men det er nå utviklet utstyr som gjør dette mulig. (Byggmesten 2001)

Kledninger, særlig ytterkledning, kan vanligvis leveres lokalt, mens store deler av produksjonen av golvbord er sentralisert og i noen tilfeller importvare.

Kledningene vil gjerne være nedslitt når bygningen rives og potensialet for gjenbruk er lite. De er også ofte overflatebehandlet og kan således være problematiske såvel i materialgjenvinning som energigjenvinning. Utvendig kledning er gjerne impregnert og uegnet for energigjenvinning. Dette gjelder også for plastmodifiserte golvbord. Behandlingsmetoder som mulliggjør effektiv energigjenvinning foreligger for alle produktalternativer.

Limtre

Bruksområder: Horisontale og vertikale konstruksjoner som dragere, bjelker og søyler.

Produksjon: Justerte trelameller tørket til 4-5% fuktighet limes sammen under trykk, vanligvis med fenol-resorcinollim i andeler 0,3 til 0,6 kg lim per m² limfuge. Ferdigprodukter pakkes inn i polyetylenplast.

Klimabelastning: Foruten ordinære energiinnsatser til produksjon av trelast, vil produksjon av lim og limeprosesser være energikrevende og innebære ekstra klimagassutslipp, henholdsvis 5,5 og 2-3 kg CO₂ per kubm. Plastemballasjen innebærer merutslipp på nesten 2kg CO₂ per kubm. Limtre vil således være mer klimabelastende enn ordinære heltreprodukter. Noe av dette hentes inn ved at limtre har høyere styrkeegenskaper.

Det transportmessige energiforbruket såvel mellom sagbruk og limtrefabrikk som fram til forbruker er betydelig høyere enn for tilsvarende heltreprodukter.

Kvalitetsikring for gjenbruk er beheftet med usikkerhet, men fortsatt aktuelt hvis limfugen ikke har vært utsatt for aggressivt miljø (Nero 1999). Etter nytt forbrenningsdirektiv kan limtre trolig ikke energigjenvinnes på ordinære biobrenselanlegg fra 2006, men må fraktes til anlegg for røykgassrensing (SFT 2002). Økt transporenergiforbruk kommer til fratrekk i klimagevinsten ved energigjenvinning. Vi kan imidlertid se for oss produktutvikling i retning av uproblematisk limtyper, eksempelvis basert på kasein, i det minste for innendørsbruk.

Massivtre

Bruksområder: Bærende vegg- og bjelkelagskonstruksjoner. Behøver i noen tilfeller ikke supplerende innerkledning/golvbelegg.

Produksjon: Tørkede og justerte lameller settes under trykk og festes sammen til elementer. Som festemidler kan benyttes treplugger, spiker, strekkstag eller lim. I spiker og strekkstag

benyttes galvaniserte stålprodukter. Som lim benyttes normal fenol-resorcinollim.

Nedtørkede produkter leveres innpakket i polyetylenplast.

Klimabelastning: For limte produkter gjelder samme forhold som for limtre. Der metall er benyttet til innfesting påløper klimabelastning i metallproduksjonen mens pluggede løsninger vil ha lavest produksjonsmessig klimabelastning

På grunn av foreløpig sentralisert produksjon må det inntil videre påregnes betydelig transporter fra sagbruk til fabrikk og senere til kunde.

Gjenbruk og energigjenvinning av limtre er beheftet med usikkerhet, se limtreavsnitt. Elementer med mekaniske festemidler er trolig enklere å kvalitetssikre for gjenbruk og materialgjenvinning. I ubehandlet tilstand er de også uproblematisk å energigjenvinne på vanlige biobrenselanlegg.

Snekkermaterialer

Bruksområder: Vinduer, dører, trapper, parkett og faste innredninger

Produksjon: Høvellast, vanligvis spesialtørket og ofte laminert. Virke for fukteksponeerte plasseringer, eksempelvis vindusvirke, er gjerne impregnert. Parkett utgjør halvparten av importen av regnskogsvirke.

Klimabelastninger: For regnskogvirke vil klimabelastninger fra transport være meget store (Gielen 1997). Også for andre snekkermaterialer må vi regne med et høyt transportforbruk blant annet i form av mellomtransporter sagbruk, høvleri, spesialisert treindustri.

Limtilsatser vil redusere mulighetene for kvalitetssikring i en gjenbruksfase. Lim, impregnering og ulike typer overfatebehandling vil også skape problemer for material- og energigjenvinning.

T5.5 Finer, treull, flis og fiber

T5.5.1 Forbehandling

Trevirke kan bearbeides mekanisk til finer, flis og fiber med betydelig brukspotensiale i byggevarer. Flis vil i stor grad være biprodukt fra sagbruk og høvleri. Fiber produseres ved at flisen varmes opp og males mellom to stålvalser (defibrering). Treull høvles og finer sages, knivskjæres eller skrelles fra heltre.

T5.5.2 Produkter basert på finer, treull, flis og fiber

Finerplater

Bruksområde: Innvendige kledninger og faste innredninger. Brukes også i konstruksjoner i kombinasjon med heltre (H-bjelker etc.).

Produksjon: Kryssfiner produseres av flere sjikt innbyrdes limt finer som er nedtørket, mens såkalte sperreplater består av sammenlimte trespiler dekket inn med tynne finerskikt. I begge tilfeller er det vanlig å benyttes urealim eller fenollim i vektandeler på ca. 2%. Vevlim, kaseinlim og soyalim kan benyttes i lite fuktutsatte bruksområder. Det importeres en betydelig andel finer basert på regnskogsvirke.

Klimabelastninger: Tørkeprosessen innebærer betydelige klimautslipp når det benyttes fossilt brennstoff. Produksjonen er sentralisert med stort transportbehov.

I avfallsfasen vil limte produkter være problematiske å kvalitetssikre for gjenbruk. Likeledes vil energigjenvinning være problematisk pga. limtilsetninger, særlig når det

benyttes syntetiske limsorter eller lim med soppgifter. Vi kan likevel anta at de fleste finerproduktene kan forbrennes på anlegg med røykgassrensing.

Sponplater

Bruksområde: Innvendige kledninger, undergolv og faste inredninger

Produksjon: Det benyttes finmalt spon eller grovere treflak (OSB-plater). Sponen tørkes til 2% fuktkvot og tilsettes lim, vanligvis ureaformaldehydlim i andeler på 7-12%, samt parafinoks 3,5% og ammoniumsulfat 0,3% som herder. Råstoff av oppmalt gjenbruksvirke kan benyttes, likeledes ulikt lavkvalitetsvirke. Platene presses under oppvarming og renskjæres.

Klimabelastninger: Energiforbruket ved produksjon av sponplater er moderat der størsteparten benyttes i spontørkene. Mye av dette besørgeres av biobrensel. Det benyttes for øyeblikket ikke materialgjenvunnet masse i norsk produksjon selv om dette er uproblematisk i praksis.

Gjennomsnittlig transport til forbruker er 250km i Norge (Fossdal 1995). Dette innebærer at klimabelastningene i transportfasen er mer enn dobbelt så stort som selve produksjonen av platene.

Sponplater er multimaterialer og således lite egnet for gjenbruk pga. problematisk kvalitetssikring. Etter nytt forbrenningsdirektiv kan sponplater trolig ikke energigjenvinnes på vanlige biobrenselanlegg fra 2006, men må fraktes til anlegg med røykgassrensing (SFT 2002). Økt transportenergiforbruk kommer således til fratrukk i klimagevinsten ved energigjenvinning.

Spon- og treullsementplater

Bruksområde: Sponsementplater benyttes som innvendige og utvendige kledninger med høy brannmotstand. Treullsementplater benyttes i akustikksjikt, men har også varmeisolerende egenskaper.

Produksjon: Produseres ved at spon eller treull støpes med sement, i vektandeler på 25% for sponsementplater og 35% for treullsementplater. Treråvaren er behandlet med kalsiumklorid for å ikke reagere med sementen.

Klimabelastninger: Betydelige klimagassutslipp vil påløpe fra produksjonen av sement samt tilfrakting av denne. Transport til forbruker er betydelig ettersom produksjonen er sterkt sentralisert.

Produktene er multimaterialer og således vanskelige å kvalitetssikre for gjenbruk. Samtidig er brennverdien på trevirke gått tapt og energigjenvinning således uaktuelt.

Trefiberplater

Bruksområde: Porøse plater benyttes som vindtettsjikt, akustikksjikt og i underkledninger. Harde plater benyttes som sutak, undergolv og i innvendige kledninger.

Produksjon: Porøse og harde trefiberplater produseres fra trefiber som presses og herdes med varmluft ved ca. 165 grader i 2-7 timer og nedtørkes deretter til 5-8% fuktkvot. Produktene er vanligvis ikke tilsatt lim. Tilsetninger av bitumenemulsjon 60% i væreksponerte produkter er vanlig med andeler på ca. 12% i porøse og 5,5% i harde plater. I noen harde produkter vil det være tilsatt ca. 0,5% fenollim.

Klimabelastninger: Oppvarmings- og uttørkingsprosessene er meget energikrevende, og i den grad det benyttes fossile energikilder vil klimabelastningene være betydelige. Også produksjonen av bitumen vil innebære utslipp av klimagasser.

Klimabelastningene ved transport til forbruker vil også være betydelige ettersom produksjonen er sterkt sentralisert.

I avfallsfasen kan robuste harde plater i noen tilfeller gjenbrukes, og ubehandlede produkter vil kunne energigjenvinnes på vanlige biobrenselanlegg. Produkter med bitumen og fenol må sendes til anlegg med røykgassrensing.

Trefiberisolasjon

Bruksområde: Varmeisolasjon i matter og som løsfyll. Materialet er klassifisert som brennbart og kan bare benyttes i bygninger i laveste brannklasse.

Produksjon: Defibrert tremasse med fuktinnhold 12-14% iblandes ca. 5% ammoniumpolyfosfat som flammehemmer og emballeres i polyetylensekker. Forbruk i bjelkelag vil være ca. 30kg per kubm og 46kg per kubm i vegg.

Klimabelastning: Energiforbruket i produksjonen er lavt i forhold til andre isolasjonsmaterialer, men produksjonen er sentralisert med lange transportavstander. Produktet kan trolig gjenbrukes etter rensing. Det knytter seg usikkerhet til mulighetene for energigjenvinning, men massen kan trolig blandes ut med brennbart avfall i større forbrenningsanlegg.

Treplast

Bruksområde: Konstruksjoner, kledninger, detaljering m.m.

Produksjon: Produseres fra en blanding av inntil 80% trefibre iblandet plastgranulat, vanligvis polypropylen, samt stoffer som reduserer vannoppsuget i trefibrene.

Klimabelastning: Produksjonen av polypropylen fra jordolje er meget klimabelastende. Dette må delvis belastes produktet selv om det benyttes gjenvunnet plast, særlig ettersom treplasten i seg selv blir vanskelig å materialgjenvinne i ettertid.

Det er foreløpig ingen produksjon av treplast i Skandinavia, så transportbelastningene er vanskelige å anslå, men det er grunn til å anta at produksjonsutstyret forutsetter større og sentraliserte enheter.

I avfallsfasen vil treplast trolig kunne energigjenvinnes på anlegg med røykgassrensing.

T5.6. Cellulose

T5.6.1 Forbehandling

Produksjonen av sulfittcellulose starter ved at tømmerstokken kuttes til flis etter at barken er fjernet. Flisen kokes så i flere timer i en blanding produsert fra svoveldioksid, kalkstein og vann. Dermed løses ligninet ut og cellulosen blir videre vasket og ofte bleket til en ren, hvit masse. For å produsere papir blander man deretter inn lim og fyllstoffer, som tungspatpulver, kaolin eller talkum.

I produktgjennomgåelsen er papirtapet, cellulosepapp, celluloselakk, celluloselim- og klister ikke medtatt. Bakgrunnen er delvis manglende informasjonsgrunnlag, delvis antagelsen om at klimabelastningene knyttet til produktene bare i liten grad skiller seg ut fra alternative produkter.

T5.6.2 Celluloseprodukter

Kartongplater

Bruksområde: Forhudning, sutak, avstivning

Produksjon: Kartongplater produseres av ca. 80% returmasse og ca. 20% ubleket sulfittcellulose og laminert med PVA-lim i andel på ca. 2%. Sutaksplatene er belagt med svart polyetylen. Forhudningsplatene er overstrøket med et vannavvisende lag naturlateks.

Klimabelastning: Eneste produsent per idag er finsk og betydelige transportmessige klimagassutslipp kan påregnes. Gjenbruk er lite sansynlig, men et visst potensiale for materialgjenvinning til lavsortert cellulosemasse. Kan energigjenvinnes på anlegg med røykgassrensing.

Celluloseisolasjon

Bruksområde: Varmeisolasjon i matter og som løsfyll. Materialet er klassifisert som brennbart og kan bare benyttes i laveste brannklasse

Produksjon: Produseres med enkelt maskineri ved at returpapir 75-95% (hovedsaklig avisepapir) hogges opp og innblandes med sopp- og brannhemmende kjemikalier, vanligvis borsaltene boraks og borsyre i samlet andel fra 5 til 25% avhengig av bruksområde.

Klimabelastning: Det produksjonsmessige energiforbruket er lavt, men norsk produksjon baserer seg ca. 60% på fossile ressurser. Materialet kan i prinsippet gjenbrukes etter rensing. Brennverdien er delvis gått tapt, men kan energigjenvinning til 60% av opprinnelig brennverdi ved innblanding med annet avfall på anlegg med røykgassrensing (Krogh 2001).

Plastlaminatplater

Bruksområde: Innvendig kledning og faste innredninger, særlig i våtrom og kjøkken

Produksjon: Plate oppbygd i sjikt og bestående av ca. 25% (vekt) herdeplaster, vanligvis basert på fenol og melamin, og resten papp og papir gjerne påtrykt ulike mønstre.

Klimabelastning: Betydelig klimabelastning ved produksjon av plaststoffer og cellulose. Vanskelig å kvalitetssikre for gjenbruk. Kan trolig energigjenvinnes på anlegg med røykgassrensing.

Celluloseplaster; cellulose-acetobutyrat (CAB) og cellulose-propionat (CAP)

Bruksområde: Termoplaster som benyttes til overlyskupler, dørhåndtak o.l

Produksjon: CAB blir framstilt ved at cellulose tilsettes en blanding av ediksyre og smørsyre mens CAP tilsettes propionsyre og propionsyreanhydrid

Klimabelastning: Energiforbruk i produksjonen er usikker. Produksjonsteknologien forutsetter trolig sentraliserte produksjonsenheter med lange transporter. Gjenbruk burde være aktuelt i avfallsfasen. Potensiale for energigjenvinning på anlegg med røykgassrensing.

T5.7 Ekstrakter

T5.7.1 Introduksjon

Ekstraherbare stoffer i trevirke løses ut med vann, alkohol eller svake alkaliske oppløsninger. Mengdene utgjør normalt fra 5-10% av vedens tørrmasse og varierer mye fra treslag til treslag, se Tillegg 4.

I produktgjennomgåelsen er barkekstrakt og treddik til impregnering ikke medtatt, heller ikke kolofonium fra furu som benyttes i linoleumsindustrien og i enkelte malinger. Bioplaster produsert fra eddiksyre er heller ikke berørt ettersom disse fortsatt ikke har gjort seg gjeldende i byggevarerindustrien.

T5.7.2 Produkter

Tretjære

Bruksområde: Utvendig overflatebehandling

Produksjon: Utvinnes av trevirke ved oppvarming og blandes gjerne med linolje i forholdet 1:1. Løses i white spirit eller terpentin

Klimakonsekvenser: Med produksjon basert på biobrensel vil klimabelastningene være små. Tretjære utvunnet fra bartrær inneholder vesentlige mengder PAH-stoffer, blant annet benzo-a-pyren, som kan legge hindringer i veien for energigjenvinning, gjenbruk og materialgjenvinning av behandlede materialer. Bøketretjære er nesten fri for PAH-stoffer og behandlede materialer kan formodentlig energigjenvinnes på vanlige biobrenselanlegg når problematiske tilsetninger er unngått.

Alkyder

Bruksområde: Bindemiddel i løsemiddelbasert maling

Produksjon: Produseres fra fettsyrer som i første rekke ekstraheres fra furu.

Klimakonsekvenser: Vi må i utgangspunktet anta at produksjon av bindemiddel fra trevirke er mindre klimabelastende enn produksjon fra fossile råstoffer, selv om dokumentasjon mangler.

Ettersom produktet alltid er innblandet med andre stoffer som pigmenter, fyllstoffer og løsemidler er energigjenvinning av behandlede materialer normalt bare aktuelt på anlegg med røykgassrensing. Men hvis soppgifter er unngått og terpentin er benyttet som løsemiddel sammen med nøytrale mineralske pigmenter vil trolig energigjenvinning være mulig på vanlige biobrenselanlegg.

Terpentin

Bruksområde: Løsemiddel i oljemaling, lakk og tretjære

Produksjon: Terpener (pinen, sylvestren, limonen) utvinnes av harpiks

Klimakonsekvenser: Terpentin fordampes etter kort tid. Løsemiddelutslipp fra vegetabiliske råvarer regnes på samme måte som biobrensel som klimanøytrale.

Tillegg 6 Klimabelastninger fra konkurrerende produkter

T6.1 Klimabelastninger gjennom livsløpet

T6.1.1 Introduksjon

Treproduktene har konkurrenter på de fleste bruksområder. I ferdige konstruksjoner vil produkter basert på trevirke i større eller mindre grad også opptre i kombinasjon med andre produkter. Disse produktene er dels nødvendige for å oppnå nødvendige strukturelle egenskaper, dels sikre mot brann og fukt.

T6.2 Metaller, betong, gips, tegl og plast

T6.2.1 Metaller

Aluminium

Bruksområder: Lette konstruksjoner, vinduer, kledning og takteking

Produksjon: Idag produseres aluminium ca. 50% fra malm og 50% fra materialgjenvinning. Gjenvinningsandelen er stigende.

Klimabelastninger: Råvaren bauxitt hentes oversjøisk. Det produksjonsmessige energiforbruket er meget høyt, men det meste er basert på vannkraft i norsk produksjon. Andelen fossil kraft er betydelig høyere på kontinentet. Aluminiumsproduksjonen dominerer også totalt utslippene av drivhusgassen PFK og står for ca. 1% av de samlede Vesteuropiske klimabelastningene (OECD 2001). Aluminiumsindustrien arbeider nå intenst med å kutte utslippene. Med økt gjenvinning reduseres såvel energiforbruket som PFK-utslippene. Samtidig er den såkalte ARP-teknologien på trappene. Denne forventes å redusere energiforbruket med inntil 38% og likeledes PFK-utslippene.

Robuste aluminiumsprodukter kan gjenbrukes. Materialet er godt egnet for materialgjenvinning, men innebærer betydelig transport pga sentralisert produksjon.

Stål

Bruksområder: armeringsjern, konstruksjoner, bolter, innvendig og utvendig kledning, takteking, beslag.

Produksjon: Produseres dels fra malm dels fra skrap. I Norge produseres alt armeringsjern fra skrap, mens konstruksjoner og andre produkter i stor grad er malmbaserte og importeres fra Sverige. Kledninger og beslag er i tillegg galvanisert eller innlegert til rustfritt med krom og nikkel. Som reduksjonsagent i selve stålproduksjonen benyttes steinkull.

Klimabelastninger: Produksjonen av stål fra malm innebærer betydelige utslipp av karbondioksid som følge av høyt energiforbruk og reduksjonsprosesser basert på steinkull. Produksjon fra skrap er mindre belastende. Overgang til trekull/flis som reduksjonsmiddel er under utredning. Dette vil redusere utslippene av karbondioksid med 30-40% (SFT 2000)

Transportforbruket er høyt som følge av sentralisert produksjon. Stålkonstruksjoner har begrenset gjenbrukspotensiale som følge av materialtetthet (Nero 1999). Materialgjenvinning er kurrant, men innebærer også lange transporter.

T6.2.2 Produkter basert på ikke-metalliske mineraler

Betong og mørtel

Bruksområder: Fundamenter, horisontale og vertikale bærekonstruksjoner, konstruksjonselementer

Produksjon: Sement er normalt produsert fra kalkstein, gips og kvarts og evt. med tilsetninger av flyveaske og slagg. Betong produseres med sement 12-20% og tilslag av sand og grus. Lette tilslag, i første rekke lettklinker, tilsettes for å få lettbetong. Betong armeres med stålarmering i andel ca. 1,5% eller fiber, vanligvis sililatstøv, mineralullsfiber eller cellulosefiber, i andeler 2-10%.

Klimabelastning: Energiforbruket i sementproduksjonen er betydelig og det brukes hovedsaklig steinkull. Betydelige mengder karbondioksid avgis dels som energirelaterte utslipp dels som følge av kjemiske prosesser ved brenning av kalkstein. Noe av dette bindes tilbake igjen gjennom karbonatiseringsprosesser i ferdig betong. Det er for øyeblikket nye sementtyper uten kalk under utprøving. Sammen med overgang til armering med kullfibre er det antatt at betongindustriens klimabelastninger på denne måten kan reduseres drastisk (Kram 2001).

Transportavstanden for sement i Norge er ca. 450km med båt og 50km med bil. Betongkonstruksjoner har normalt høy holdbarhet. Standardiserte elementer kan ofte gjenbrukes etter kvalitetsikring, Betong kan materialgjenvinnes til nytt tilslag i mindre konstruksjonsarbeider og ,uten problematiske organiske tilsetninger, normalt deponeres som fyllmasse.

Gips og gipsplater

Bruksområder: Avretting av golv, bygningsplater med høy brannmotstand

Produksjon: Støpes av gips 90-95% som tilsettes litt glassfiber som armering. I fuktbestandige plater er det tilsatt silikon. Platene inndeckes med kartong 5-10%.

Klimabelastning: Høyt energiforbruk i produksjonen med stort innslag av fossile brennstoffer, inntil 90% i norsk produksjon. Sentralisert produksjon innebærer stort transportenergiforbruk.

Platene er sjeldent robuste nok til gjenbruk, men kan materialgjenvinnes. Deponering er problematisk p.g.a. utvasking av svovel.

Mineralull

Bruksområder: Ubrennbar varmeisolasjon og lydisolasjon

Produksjon: Glassullfibre produseres hovedsaklig av kvartssand evt, tilsatt returmateriale. Matter betår av 94% fibre og ca. 5,5% lim, vanligvis fenolformaldehydharpiks.

Steinullmatter produseres fra diabas og kalkstein som tilsettes ca. 2% lim som i glassull.

Klimabelastning: Betydelig produksjonsmessig energiforbruk som for glassull dekkes ca. 61% med fossile brennstoffer. Tilsvarende for steinull er nesten 100%. Sentralisert produksjon innebærer betydelige transportdistanser.

Glassull kan materialgjenvinnes. Mineralull må ellers deponeres på godkjent avfallsplass

T6.2.3 Produkter basert på blandede løsmasser

Tegl og keramiske fliser

Bruksområder: Konstruksjon, kledning, takteking, golvbelegg

Produksjon: Teglproduktene framstilles av sandmagret leire, evt. med ulike tilsetninger og tilslag og brennes ved høy temperatur.

Klimabelastning: Høyt produksjonsmessig energiforbruk, vanligvis basert på fossile brennstoffer. Det er per idag ingen teglproduksjon i Norge, og tunge materialer og lange transportavstander innebærer betydelige utslipp av klimagasser.

Produktene har høy holdbarhet og er egnet for gjenbruk hvis mørtelen som benyttes er svak nok. Kan også materialgjenvinnes som tilslag i mindre betongkonstruksjoner. Kan brukes som fyllmasse med unntak av innfargede keramiske fliser som må deponeres på godkjent avfallsplass.

T6.2.4 Produkter basert på fossile råvarer

Polyvinylklorid (PVC)

Bruksområder: Vinduer, golvbelegg, takrenner, kledninger, takteking

Produksjon: Produseres fra jordolje og naturgass og tilsettes ulike hjelpestoffer til innfarging, mykgjøring, brannherding etc.

Klimabelastning: Betydelige utslipp av aromatiske og alifatiske hydrokarboner samt karbondioksid ved olje-/gassutvinning og raffinering. Energikrevende produksjon.

Polyvinylklorid kan materialgjenvinnes, men til stadig lavere kvalitet. Bør ikke energigjenvinnes på grunn av toksiske røykgasser, men deponeres på godkjent avfallsplass (Spets 2002).

Tillegg 7 Bibliografi og samlede analyseresultater

I første del av tillegget er aktuelle livsløpsstudier i kildematerialet overordnet presentert med hensyn på hovedproblemstillinger og gjennomføring samt resultater der det er relevant. Også innfallsvinkler og eventuell bearbeidelse ved bruk i analysene bakerst i tillegget er raskt skissert. Identitets-referansene forholder seg til Kapittel 7.0 Kilder.

I andre del av tillegg 7 presenteres de samlede analyseresultatene med fokus på substitusjonseffekter.

T7.1 Presentasjon av enkeltstudiene

(Bjørklund 1997)

Problemstilling: Teoretisk miljøvurdering av fiktive fleretasjes boliger og lagerbygninger i tre og betong

Beskrivelse: I boliger er betong-alternativer med såvel in situ som elementer undersøkt. Boliganalysen omfatter dekker, interne vegger og yttervegger i en etasje av bygningene og inkluderer alle faser i livssyklusen. I lagerbygninger er betongalternativer med elementer og stolpe-drager-konstruksjon undersøkt. For lagerbygningene er bare produksjons- og avfallsfasen behandlet.

Bare produksjon og riving er problematisert. Elforbruket er ikke belastet. .

Resultater: Den indirekte klimabelastningen er betydelig lavere for trekonstruksjonen, men sammen med direkte klimabelastninger er forskjellene små.

Vedr. bruk i tabellene: Betongkonstruksjonene i boligene godskrevet for varmelagringsevne. For lagerbygningene er bare betongalternativ med stolpe-drager-konstruksjon presentert. Bare CO₂-belastning er medtatt ettersom andre klimabelastninger vurderes som marginale.

(Damberger 1995)

Problemstilling: Undersøke miljøbelastningen gjennom livsløpet for 3 eneboliger oppført i henholdsvis bindingsverks, massivtre og tegl.

Beskrivelse: De tre bygningstypene tar utgangspunkt i eksisterende typehus oppført i 2 etasjer og er normalisert til 137m² BRA. Varmeisolasjon er noe dårligere enn for norsk standard. Det beregnes såvel direkte som indirekte klimabelastninger over et livsløp på 80 år.

Det er laget egen beregning for energigjenvinning av trevirke. Gjenbruk og deponering er ikke vurdert. Elforbruk er belastet for klimagassutslipp med 0,202 kg CO₂/kWh

Resultater: Bindingsverksboligen gir minst klimabelastning, med massivtrebygningen som nummer to.

Vedr. bruk i tabellene: Det er søkt å skille ut indirekte klimabelastninger fra de ulike bygningstypene. Også effekten av energigjenvinning er trukket fra.

(Fossdal 1995)

Problemstilling: Sammenligning av miljøbelastning for eneboliger i tre og Lecablokk, samt kontorbygg i stål og betong.

Beskrivelse: Boligene er henholdvis liten bolig i tre, 135m² BRA ,og stor bolig i tre, 235m² BRA, samt liten bolig i Lecablokk, 140m² BRA. Alle oppført i 2 etasjer med konvensjonell utførelse. Kontorbygg stål er oppført i 7 etasjer med totalt 11000 m² BRA og betongbygget i 9200 m² BRA. Bygningene oppfyller forskriftskravene til varmesolasjon som gjaldt fram til 1997. Bare CO₂-utslipp er vurdert. Elforbruk er i utgangspunktet ikke belastet for klimagassutslipp, men er bearbeidet videre i (Thyholt 1999) med belastning 0,04 kg CO₂ per kWh. Netto treforbruk er benyttet som basis. Avfallsbehandling er ikke problematisert.

Resultater: For eneboligene kommer boliger med høyt innslag av trevirke best ut. For kontorbyggene er betongbygget minst belastende.

Vedr. bruk i tabellene: Videre bearbeiding i (Thyholt 1999) er benyttet. Stor enebolig i tre er ikke medtatt i samletabell ettersom denne ikke umiddelbart kan sammenlignes med liten enebolig i Lecablokk. Lecabolig er under tvil godskrevet for varmelagringsevne. Betongbygg er godskrevet med varmelagringsevne. I kilden er vekt av gips og trefiberplater samlet. I tabellen er det tatt utgangspunkt i at 30% av platevekten utgjøres av trefiberplater. .

(Fossdal 1995/2)

Problemstilling: Sammenligning av miljøbelastninger fra ulike bygningsdeler; innvendige skillevegger, yttervegger, tak, etasjeskiller og vinduer

Beskrivelse: Teoretisk beregning av følgende bygningsselementer:

Bygningsdel	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Innvendige skillevegger	Bindingsverk tre isolert m/mineralull og innkledd m/gips	Stålstendere isolert m/mineralull og innkledd m/gips				
Yttervegger U= 0,2-0,22	Laftet yttervegg isolert m/mineralull, innv. gips	Bindingsverk m/mineralull, innv. gips	Lecablokk m/mineralull, innv. gips	Ensidig tegl m/mineralull , innv. gips	Skall mur av tegl m/mineralull	Betong m/mineralull, utv. trepanel
Tak U= 0,15	Takstoler m/mineralull, innv. gips	Taksperrer m/mineralull, innv. gips	Betong m/polystyren, innv. gips			
Etasjeskiller U= 0,21-0,24	Trebjelkelag m/mineralull, sponplater og gips	Betongdekke m/ eksp. polystyren og sponplate				
Vinduer U=1,6	Trevindu	PVC-vindu				

Bare produksjonsfasen er vurdert. El.forbruk er ikke belastet. Bare rene CO₂-belastninger er medtatt

Vedr. bruk i tabellene: Spesifikke tall for treforbruk er ikke oppgitt i studien. Disse har vært grovt beregnet for bruk i tabellen.

(Fossdal 1999)

Problemstilling: Sammeligning av samlet miljøbelastning fra eneboliger i laft og bindingsverk

Beskrivelse: En forenklet studie der boligtypene grovt er sammelignet m.h.p. energiforbruk og utslipp gjennom livsløpet. Begge hus er oppført i en etasje. Laftehuset har areal 83,6 m² BRA og er isolert med cellulosefiber. Bindingsverkshuset er isolert med mineralull.

Bare rene CO₂-utslipp er vurdert. Avfallsbehandling er ikke problematisert.

Resultater: Over livsløpet får bindingsverkshuset over dobbelt så høy klimabelastning som laftehuset til tross for at det direkte energiforbruket i laftehuset er ca. 25% høyere.

Vedr. bruk i tabellene: Belastning fra el-bruk er lagt til. Bare den indirekte klimabelastningen er betraktet. For enkelthets skyld er bygningene forutsatt isolert til samme standard, selv om dette ikke er tilfellet i studien. Laftehuset har fått godtgjort varmelagringsevne.

(Goverse 2001)

Problemstilling: Beregning av klimaeffekten ved økt bruk av tre og treprodukter i rekkehus i Holland.

Problemstilling: I et basisrekkehus i konvensjonell Hollandsk utførelse i betong gjennomføres en teoretisk trinnvis substituering av mineralske materialer med trealternativer. Bygningen er oppført i 2,5 etasjer med areale 120m² BRA.

Bare produksjonsfasen er vurdert. Bare rene CO₂-utslipp er vurdert. Elforbruk er belastet etter nederlandsk standard

Resultater: Klimabelastningene synker drastisk med økende treforbruk.

Vedr. bruk i tabellene: Betongkonstruksjonen er godskrevet for varmelagringsevne.

(Gustavsson 2001)

Problemstilling: Sammenligning fleretasjers trebygning med tilsvarende i betong for en rekke miljøparametre.

Beskrivelse: Analysen inkluderer produksjon av bygningsmaterialer samt forskjellige typer avfallsbehandling. Fire scenarier for avfallsbehandling undersøkes:

- Forbrenning der energien erstatter fossilt brennstoff
- 50% av treet gjenbrukes som bygningsmaterialer og 50% forbrennes
- Landfill uten oppsamling av gass og landfill med oppsamling av gass (energien fra gassen erstatter fossile brennstoffer).

De undersøkes også to alternative måter å produsere betong på:

- Med naturgrus
- Med knust stein.

CO₂ sluppet ut i den kjemiske prosessen i produksjonen av betong er antatt å tilbakebindes ved karbonatisering.

Miljøbelastninger er undersøkt for levetid 50 og 100 år.

Resultater: Betong-konstruksjoner trenger 60-80% mer energi i produksjon (primærenergiforbruk). Hvis rivnings-virke energigjenvinnes og energien erstatter fossile brennstoffer, innebærer betongkonstruksjonen 8-31 ganger så høye utslipp av klimagasser. Hvis 50% av trevirket blir gjenbrukt og 50% energigjenvunnet avgir betongkonstruksjonen 20-77 kg CO₂-ekv. mens 4kg CO₂-ekv. er unngått med trekonstruksjonen [altså en negativ verdi]. Hvis treavfallet er deponert og deponigassen er utnyttet, innebærer betongrammen 6-23 ganger større klimagassutslipp.

Vedr. bruk i tabellene: Det er tatt utgangspunkt i scenario der avfallsvirke energigjenvinnes til erstatning for fossilt brensel, samt der karbonatisering er 100%. Dette er begge ekstremscenarier, men med innbyrdes relevans.

(Jarnehammar 1998)

Problemstilling: Sammenligning av livsløpsbelastninger for tre ulike yttervegger og tre ulike bjelkelag med forskjellig treforbruk.

Beskrivelse: Ytterveggene er identiske konvensjonelle bindingsverkskonstruksjoner der fasadematerialet varieres med puss, vanlig trepanel og kvalitetssikret trepanel (stående årringer m.m.). Alternative bjelkelag er massivtre, konvensjonelt bjelkelag og betongkonstruksjon. Funksjonell enhet for yttervegg er m² yttervegg over 100 år og for bjelkelag m² bjelkelag over 100år.

For bjelkelagene er det ikke innberegnet utskiftninger og vedlikehold. For veggene er oppmaling og og skifting av trepanel, nymørtling og reparasjoner av pusset fasade innberegnet. Elforbruk er ikke belastet for klimagassutslipp. Avfallsbehandling er ikke inkludert

Resultater: For bjelkelagene har trealternativene betydelig lavere klimabelastning enn betongalternativet og massiv-konstruksjon kommer best ut. For veggene er trekledning mindre belastende enn puss og kvalitetssikret kledning er best.

Vedr. bruk i tabeller: Ingen bearbeiding gjennomført

(Jönsson 1995)

Problemstilling: Sammenligning av ytre miljøbelastninger gjennom livsløpet for golvbelegg av tre, vinyl og linoleum i boliger.

Beskrivelse: Golvalternativene inkluderer nødvendige supplerende materialer i form av spikerslag og undergolv. Levetid for linoleum anslås til 25 år, PVC 20 år og furugolv 40 år.

I tillegg til CO₂ er også VOC-utslipp behandlet. Klimagassutslipp fra elektrisitetsproduksjonen er ikke inkludert. Belastning fra renhold og renholdsmidler er ikke vurdert. Det antas at materialene hverken materialgjenvinnes eller gjenbrukes. Det beregnes energigjenvinning for alle materialene, men bare som med respektive utslipp der biomasse ikke belastes.

Resultater: Tregolvet kommer best ut, deretter linoleum og til sist vinyl.

Vedr. bruk i tabellene: I studien er m² golv per år brukt som funksjonelle enhet. Dette er endret til m² golv per 50 år for å forbedre sammenligningsgrunnlaget med andre studier. VOC-utslipp er ikke tatt med ettersom belastningen er marginal.

(Krogh 1998)

Problemstilling: Sammenligning av miljøbelastninger for bygningsdeler (bjelkelag, yttervegg og innervegg) i varierende utførelse i bygninger av tre og betong i 3-5 etasjer.

Beskrivelse: Omfatter bare produksjonsfase

Resultat: Klimabelastning fra bygningsdeler av tre er betydelig lavere.

Vedr. bruk i tabeller: Ingen bearbeiding gjennomført

(Noren 1998)

Problemstilling: Miljøvurdering av 3 eneboliger i tre gjennom livsløpet.

Beskrivelse: To av boligene er oppført i 1,5 etasjer og med areal 150m² BRA der en er fundamentert på betongplate, den andre på Leca grunnmur. Det tredje huset er oppført i 1 etasje på betongplate og areal 125 m² BRA. Alle husene er oppført i bindingsverk av prefabrikerte treelementer, men det er stor forskjell på forbruket av treprodukter, betong og Lecablokk. Analysen har tatt for seg bygningenes hovedelementer. Vinduer, dører m.m. samt VVS er ikke medtatt.

Elforbruk er ikke belastet (vannkraft og atomkraft). Som funksjonell enhet er valgt "et moderne enfamilie småhus med bruksareal 125-150m² over 100 år".

Vedr. bruk i tabellene: Funksjonell enhet er søkt endret til m² bolig 100 år for å lette sammenligning mot resten av tabellen. Bolig med høyt betonginnhold får ikke tillegg for varmelagringsevne ettersom betongforbruket i hovedsak er gått med i fundamentering.

(Noren 1999/2)

Problemstilling: Demonstrere bruk av LCA-metodikk for å forbedre bygningers miljøegenskaper. Som eksempel beregnes miljøbelastning fra konvensjonell boligblokk i tre som utstyres med høyere treinnhold.

Beskrivelse: Basishuset er et konvensjonelt trehus på fire etasjer med areal 2495 m² BRA. med vanlig bjelkelag og utvendig puss Bygningen undersøkes med henholdsvis 2 typer massive trebjelkelag og ytterkledning av tre. Sistnevnte forutsetter sprinkleranlegg.

Vedlikehold og fornyelse av materialer er bare i begrenset grad medtatt. Bygging, riving og avfallshåndtering er ikke inkludert. Faste innredninger og installasjoner m.m. er ikke medtatt. Elforbruk er belastet.

Resultater: Massivtreløsninger kommer generelt best ut i klimasammenheng

Vedr. bruk i tabellene: Bjelkelag med økt treinnhold er i første rekke presentert i bygningsdelstabellen. Bare massivtrebjelkelag med høyest treinnhold er medtatt. Alternativ med trekledning er ikke medtatt da det gav marginale utslag. Løsning med bjelkelag i massivtre er godskrevet med varmelagringsevne.

(Noren 1999/3)

Problemstilling: LCA for to trevinduer og tre tre/aluminiumsvinduer

Beskrivelse: Trevinduer med 3-lags isolerglass og koblede tre og tre/aluminiumsvinduer med 2-lags isolerglass pluss enkeltglass ble undersøkt. I trevinduene og et av tre-aluminiumsvinduene er virket trykkimpregnert. U-verdien varierer mellom 1,75 og 1,9 W/m²K. Som funksjonell enhet er valgt 10m² vindu over 100 år. Levetiden for aluminiumsvinduene er anslått til 100år. For trevinduene gjennomføres scenarioer med 30 og 70 år livslengde.

Vedlikehold og fornyelse er medtatt. Materilgjenvinning og energigjenvinning er problematisert, men ikke som klimaaspekt.

Vedr. bruk i tabellene: Den funksjonelle enheten er grovt omgjort til m² per 100 år. Bare trevindu med høyest treinnhold og tre/aluminiumsvindu med lavest treinnhold blir presentert. Det er ikke tatt hensyn til impregnering selv om dette vil ha stor betydning for energigjenvinning i avfallsfasen. Det er ikke kompensert for ulik isolasjonsverdi. I kilden er klimaeffekt av PFK-utslipp fra aluminiumsindustrien er ikke belastet aluminiumsvinduet. Dette utgjør ca. 1kg pr. tonn aluminium og er påplussert i tabellene med en klimabelastning på 8000 CO₂-ekv. per kg PFK. For trevindu er det tatt utgangspunkt i levetid 70 år. For levetid 30 år er klimabelastningene større.

(Petersen 1998)

Problemstilling: Sammenlignende livsløpsvurderinger for yttervegger, innvendige vegger og bjelkelag.

Beskrivelse: Teoretisk vurderinger av ulike bygningsselementer:

Bygningsdel	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Yttervegg	bindingsverk i tre isolert m/steinull, utv. alu-kledning innv. gipsplate	teglsten/gassbetong m/steinull	sandwich-betongelement m/EPS-plater	
Innv. vegg	Sponplater på bindingsverk av tre	gipsplater på stålskjelett m/steinull	pusset gassbetong	elementvegg av betong
Bjelkelag	bjelkelag av tre inndekket m/ spon- og gipsplater	betonghulldekke		

Beregningene er utført med bakgrunn i nasjonal miljødatabase.

- El bruk er belastet etter europeisk gjennomsnitt. Klimabelastninger fra VOC er beregnet i tillegg til CO₂. Gjennomsnittlige transportavstander for danske byggevarer er inkalkulert. Utskiftinger og vedlikehold er ikke medtatt. Avfallsbehandling er ikke problematisert.

Vedr. bruk i tabellene: Bare belastning av CO₂ er medtatt ettersom de andre er marginale. I kilden er treforbruk sjelden oppgitt i kilo og forenklede omregninger har vært foretatt. Aluminiumskledning var ikke belastet i studien. Dette utgjør ca. 1kg pr. tonn aluminium og er påplussert i tabellene med en klimabelastning på 8000 CO₂-ekv. per kg PFK.

(Petersen 2002/2)

Problemstilling: Sammenligning av takkonstruksjoner i stål og limtre med hensyn på klimabelastning og energiforbruk gjennom livsløpet

Beskrivelse: Limtre dragerne i terminalbygningen på Gardemoen er benyttet som "case" der en substitusjon mot stål er vurdert. Som funksjonell enhet er benyttet m² over 50 år. Det er gjennomført scenarier der det er søkt å finne fram til faktorer med størst betydning, eksempelvis typer avfallsbehandling, råvaregrunnlag for stålproduksjonen etc. Klimabelastningene er diskontert for å få med tidseffekten i betraktningene

Klimagassene CO₂, CH₄ og N₂O er vurdert. Oppføring, bruk og riving er ansett for å være like belastende for begge alternativer og er således ikke medtatt Klimabelastning fra elektrisitetsproduksjon er ikke medtatt.

Resultater: Framstilling av limtre forårsaker bare ca. 20% av tilsvarende klimabelastning for stål. Karbonfiksering i regenerert skogsområde, avfallsbehandling av materialer, malmbasert eller skrapbasert stål og valg av diskonterings-rate er de antagelsene med størst virkning på resultatet.

Vedr. bruk i tabellene: Bare produksjonsmessige belastninger er medtatt for å sikre sammenligning med andre andre konstruksjoner. "Mest sannsynlig estimat" er benyttet. For stål innebærer dette at 50% er produsert fra skrapjern.

(Petersen 2002/3)

Problemstilling: Sammenligning av golvbelegg i ulike materialer med hensyn på klimabelastning og energiforbruk gjennom livsløpet.

Beskrivelse: Golvbelegg i heltre eik i terminalbygningen på Gardemoen er benyttet som “case” der en substitusjon mot andre materialer er vurdert. Som funksjonell enhet er benyttet m² golv over 45 år. Det er gjennomført scenarier der det er søkt å finne fram til faktorer med størst betydning, eksempelvis type avfallsbehandling, gjenbrukbarhet for skifergolv etc. Bare tre- og skifer-alternativene er undersøkt i detalj. For de andre golvløsningene er data hentet fra andre kilder.

Klimagassene CO₂, CH₄ og N₂O er vurdert. Utskiftingsintervaller er inkalkulert. Levetid eikegolv er satt til 45 år. Klimabelastning fra elektrisitetsproduksjon er ikke medtatt.

Resultater: Eikegolv kommer best ut. Så følger linoleum, vinyl, skifer, polyamid og ull..

Vedr. bruk i tabellene: Avfallsbehandling som blant annet inkluderer energigjenvinning av trevirke er ikke medtatt for å sikre sammenligning med andre andre konstruksjoner. “Mest sannsynlig estimat” er benyttet.

(Svanes 2002)

Problemstilling: Vugge til byggeplass vurdering av ulike miljøparametre for to leilighetsbygg med henholdsvis massive treelementer og vanlig bjelkelag i etasjeskillene.

Beskrivelse: Utgangspunkt i nybygde fleretasjes boliger i Magasinveien i Trondheim, som hver består av 4 leiligheter. Vurderingene er foretatt på 1. etasje, dvs. uten 2. etg. og tak. Massivtreelementene har tykkelse 145mm og bredde 875 . I alternativet benyttes I-bjelker av typen Ranti IB-250 med tykkelse 250mm og cc 600mm. Også løsninger for vegg, grunn og lyd- og branndetaljer er medtatt. Funksjonell enhet er “Første etasje” med areal 171m² BRA. Som metode er benyttet SimaPro.5.0, et beregningsverktøy fra Leiden Universitet.

Vinduer, dører, kledning, isolasjon, innvendige vegger etc er ikke medtatt. Omfanget av betong/armeringsjern er satt likt i begge løsninger. Transport til byggeplass er ikke medtatt, heller ikke bygging. Ingen avfallsaspekter er problematisert. Utslipp av CO₂ og CH₄ er beregnet.

Vedr. bruk i tabellene: Treinnhold i kg per m² er grovt beregnet med utgangspunkt i kubikkmeter-angivelser. Bare klimabelastning for CO₂ er angitt ettersom utslipp av CH₄ er marginalt

T7.2 Samlede analyseresultater

T7.2.1 Tak, bjelkelag, ytter- og innervegger

Bygningsdel	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klima-belastning [kg CO ₂ -ekv. / m ²], B	Effekt varme-lagring [kg CO ₂ -ekv. / m ²]	Tre for-bruk [kg /m ³], T	Substit.-effekt [kg CO ₂ -ekv. / kg trevirke]
Takkonstruksjon	Petersen 2002/2	Limtredragere	m ² tak 50år	7		77	•
		Stål	m ² tak 50år	45		0	0,49
Tak	Fossdal 1995/2	Sperretak av tre	m ² tak	9		25	•
		Massivt betongtak	m ² tak	66	-2,5	0	2,18
Bjelkelag	Fossdal 1995/2	Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag	11		29	•
		Betongdekke	m ² bjelkelag	64	-2,5	0	1,74
Bjelkelag	Jarnehammer 1998	Massivtre	m ² bjelkelag	16	-2,5	118	•
		Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag	20		29	0,07/•
		Betongdekke	m ² bjelkelag	58	-2,5	8	0,38/1,69
Bjelkelag	Petersen 1998	Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag 50 år	24		30	•
		Betongdekke	m ² bjelkelag 50 år	74	-2,5	0	1,58
Bjelkelag	Noren 1999/2	Massivtre	m ² bjelkelag	16	-2,5	92	•
		Lett trebjelkelag	m ² bjelkelag	25		32	0,19
Bjelkelag	Noren 2001	Tungt trebjelkelag	m ² bjelkelag	14		61	•
		Betongdekke	m ² bjelkelag	68	-2,5	21	0,38
Bjelkelag	Svanes 2002	Massivtre	m ² bjelkelag	37	-2,5	75	•
		Lett tre bjelkelag	m ² bjelkelag	41		16	0,11
Yttervegg	Fossdal 1995/2	Bindingsverk trevirke	m ² vegg	8		26	•
		Lecablokk	m ² vegg	63	-2,5	0	2,02
		Tegl, ensidig	m ² vegg	41	-2,5	0	1,17
		Skallmur tegl	m ² vegg	71	-2,5	0	2,32
		Betong	m ² vegg	52	-2,5	12	2,96
Yttervegg	Jarnehammer 1998	Bindingsverk m/ kvalitetssikret utv. kledning	m ² vegg 100år	10		29	•
		Bindingsverk m/ utv. puss	m ² vegg 100år	19		11	0,44
Yttervegg	Petersen 1998	Bindingsverk m/alu.kledn.	m ² vegg 50år	63		11	•
		Betong sandwich-element	m ² vegg 50år	98	-2,5	0	2,95
Innervegg	Fossdal 1995/2	Bindingsverk tre, isolert	m ² vegg	8		7	•
		Stålstendere isolert	m ² vegg	10		0	0,28

Inner-vegg	Petersen 1998	Bindingsverk tre, isolert	m ² vegg 50år	7		23	•
		Stålstendere, isolert	m ² vegg 50år	16		0	0,39
		Gassbetong	m ² vegg 50år	29	-2,5	0	0,46
		Betong	m ² vegg 50år	47	-2,5	0	1,63
Inner-vegg	Noren 2001	Bindingsverk tre, isolert	m ² vegg	15		30	•
		Betong	m ² vegg	62	-2,5	0	1,48
Inner-vegg	Noren 2001	Bindingsverk tre, isolert	m ² vegg	23		39	•
		Stålstendere, isolert	m ² vegg	27		0	0,10

Tabell T 7.1: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av tak, bjelkelag, inner- og yttervegger. Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.

T7.2.2 Golvbelegg og vinduer

Bygningsdel	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klimabelastning [kg CO ₂ -ekv. / m ²], B	Tre forbruk [kg / m ²], T	Substit.-effekt [kg CO ₂ -ekv. / kg trevirke],
Golvbelegg	Jönsson 1994	furugolv BK1-3	m ² golv 50år	0,5	7	•
		vinylbaneBK1-3	m ² golv 50år	10,2	0	1,39
		linoleum BK 1-3	m ² golv 50år	3,2	0	0,38
Golvbelegg	Petersen 2002/3	heltre eik	m ² golv 45år	0,7	14	•
		linoleum	m ² golv 45år	2	0	0,09
		vinyl	m ² golv 45år	4	0	0,24
		polyamid	m ² golv 45år	7	0	0,45
		skifer	m ² golv 45år	5	0	0,31
Vinduer	Fossdal 1995/2	tre	m ² vindu	9,7	15	•
		PVC	m ² vindu	22,5	0	0,85
Vinduer	Noren 1999/3	tre	m ² vindu over 100 år	86	15,3	•
		tre/aluminium	m ² vindu over 100 år	72	9,4	-2,37

Tabell T 7.2: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av golvbelegg og vinduer. Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.

T7.2.3 Hele bygninger

Bygnings- type	Studie	Alternativer	Funksjonelle enheter	Indirekte klima- belastning [kg CO ₂ -ekv. / m ²], B	Effekt varme- lagring [kg CO ₂ - ekv. / m ²]	Tre for- bruk [kg / m ²], T	Substit.- effekt [kg CO ₂ - ekv. / kg trevirke]
Enebolig	Fossdal 1999/2	Tre, massiv laft	m ² BRA 50år	53	-5,3	363	•
		Tre, bindingsverk	m ² BRA 50år	123		92	0,27
Enebolig	Fossdal 1995	Tre bindingsverk, liten type	m ² BRA 50år	140		177	•
		Lettbetong	m ² BRA 50år	278	-5,3	105	1,84
Enebolig	Noren 1998	Bindingsverk høyt treforbruk	m ² BRA 100år	102		171	•
		Bindingsverk middels treforbruk	m ² BRA 100år	116		150	0,67
Enebolig	Noren 1998	Bindingsverk middels treforbruk	m ² BRA 100år	116		150	•
		Bindingsverk lavt treforbruk	m ² BRA 100år	137		78	0,37
Enebolig	Damberger 1995	Massivtre	m ² BRA 80år	247	-5,3	252	•
		Bindingsverk	m ² BRA 80år	205		89	0,22/•
		Tegl	m ² BRA 80år	287	-5,3	48	0,17/2,00
Rekkehus	Goverse 2001	Bindingsverk høyt treforbruk	m ² BRA (produksjon)	68		113	•
		Bindingsverk middels treforbruk	m ² BRA (produksjon)	72		110	1,33/•
		Bindingsverk, lavt treforbruk	m ² BRA (produksjon)	82		96	0,82/0,71
		Betong	m ² BRA (produksjon)	134	-5,3	30	0,73/0,77
Bolig- blokk	Noren 1999/2	Trehus m/massivbjelkel ag	m ² BRA 40år	88	-1,5	135	•
		Trehus m/konv. bjelkelag	m ² BRA 40år	97		75	0,13
Bolig- blokk	Bjørklund 1997	Tre bindingsverk	m ² BRA 50år	41		30	•
		Betongelement- bygning	m ² BRA 50år	113	-4,5	0,1	2,25
Bolig- blokk	Bjørklund 1997	Tre bindingsverk	m ² BRA 50år	41		30	•
		Betong in situ- bygning	m ² BRA 50år	102	-4,5	0	1,88

Kontor- bygning	Fossdal 1995/1	Betong in situ	m ² BRA 50år	230	-12,7	22	-
		Stål	m ² BRA 50år	235		8	-
Lager- bygning	Bjørklund 1997	Trebygning	m ² BRA (produksjon)	18		30	•
		Betong element- bygning	m ² BRA (produksjon)	32		0	0,46

Tabell T 7.3: Bearbejdede resultater fra gjennomførte livsløpsstudier av ulike bygningstyper. Oppsummering i substitusjonseffekt som viser endring i klimabelastning ved substitusjon til treintensive alternativer i studiene.