

Oppdragsrapport fra Skog og landskap 03/2008

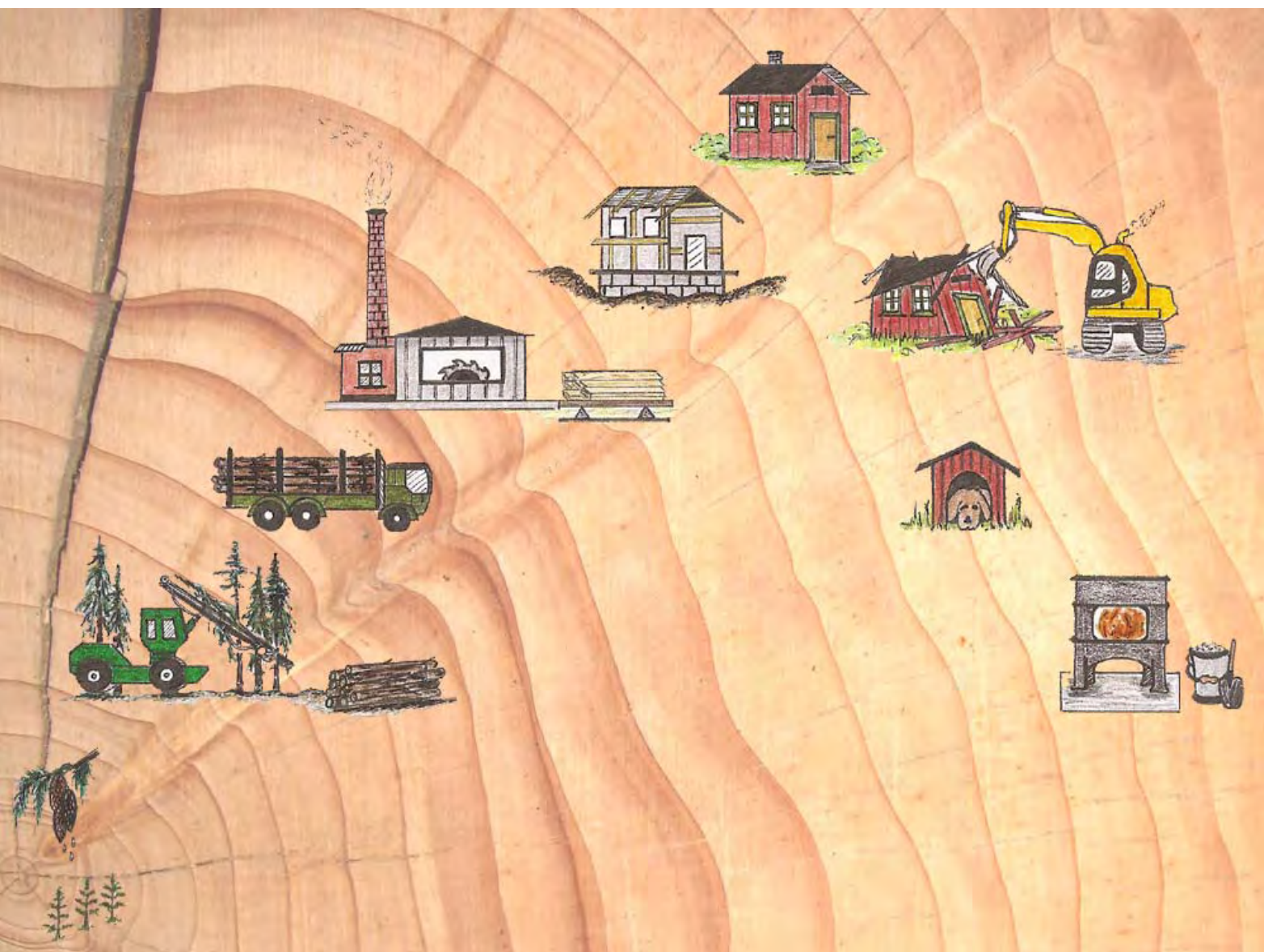
MILJØEFFEKTER VED BRUK AV TRE

Sammenstilling av kunnskap om tre og
treprodukter

Gry Alfredsen, Bjørn Roger Asbjørnsen, Per Otto Flæte og
Erik Larnøy



skog+
landskap



Oppdragsrapport fra Skog og landskap 03/2008

MILJØEFFEKTER VED BRUK AV TRE

Sammenstilling av kunnskap om tre og treprodukter

Gry Alfredsen, Bjørn Roger Asbjørnsen, Per Otto Flæte og Erik Larnøy

ISBN 978-82-311-0042-3

Omslagsillustrasjon: Sigrun Kolstad ©

Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO-1431 Ås, Norway

HOVEDPUNKTER

- Hvis man tar utgangspunkt i den energien som tømmeret representerer, går mindre enn 3 % av denne med til å fremskaffe dette tømmeret til industrien. Om lag halvparten av energiforbruket fra skogetablering til industritomt er knyttet til tømmertransport.
- I livssyklusfasene til boliger og kontorbygg er det bruksfasen som utgjør det største energiforbruket, ca. 85-93%.
- Drivhusgassbalanse og energi som går til gjenvinning, vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving og eventuell substitusjon av fossilt brensel. For trekonstruksjoner er den energien som frigjøres ved forbrenning av rivingsvirke, minst like stor som den energien som kreves til fremstilling av trekonstruksjonene.
- I 95 % av de gjennomgåtte studiene i denne undersøkelsen der tre ble sammenlignet med alternative materialer, har man kommet til at tre var like bra (35 %) eller bedre (60 %).
- Gode levetidsdata for tre og trekomponenter er helt avgjørende for gode LCA analyser. Økt levetid på bygningsdeler i tre vil kunne bidra til økt karbonbinding. Det er derfor av stor betydning å finne nye trebeskyttelsessystemer som bidrar til økt levetid.
- Nyere undersøkelser peker i retning av at den største samlede reduksjonen i CO₂-utslipp til atmosfæren oppnås ved å drive et intensivt skogbruk. Dette er basert på forutsetninger om at biomassen fra skogen benyttes til å substituere mer energikrevende produkter, samt til substitusjon av fossilt brensel. I praksis vil et intensivt skogbruk kunne komme i konflikt med en del av kravene som er satt til et bærekraftig skogbruk.

SAMMENDRAG

Fra frø til plank

Planteskoler

- Oppvarmingen av veksthusene ved produksjon av skogplanter er den enkeltfaktor som gir størst utslipp av CO₂, fulgt av plantedistribusjon (Aldentun 1999a).

Skogbruk

- En svensk studie fant at energiforbruket i skogbruket ligger lavt, basert på at 1 m³ tømmer inneholder 7700 MJ, og at det trengs mindre enn 200 MJ for å fremstille dette til industrien (mindre enn 3 %) (Berg og Lindholm 2005).
- Siden om lag halvparten av energiforbruket fra skogetablering til industritomt (i Sverige) er knyttet til tømmertransport vil det være mest å hente ved å effektivisere denne delen av skogproduksjonskjeden (Berg og Lindholm 2000, 2005, Lindholm og Berg 2001).
- Skogskjøtselens innflytelse er størst for bakkenært ozon og drivhuseffekten Lindholm og Berg (2001).
- Skogbruket påvirker også miljøet på andre måter, som biologisk mangfold og kulturhistorie, men for å speile disse må man bruke andre metoder (Lindholm og Berg 2001, Seppala et al. 1998).
- Nyere undersøkelser peker i retning av at den største samlede reduksjonen i CO₂-utslipp til atmosfæren oppnås ved å drive et intensivt skogbruk. Dette er basert på forutsetninger om at biomassen fra skogen benyttes til å substituere mer energikrevende produkter, samt til substitusjon av fossilt brensel. Samfunnet krever imidlertid i dag at skogbruket drives bærekraftig, noe som blant annet ivaretas gjennom skogsertifisering. Det kan synes som om at et intensivt skogbruk for maksimal reduksjon av CO₂-utslipp kan komme i konflikt med en del av kravene som er satt til et bærekraftig skogbruk gjennom dagens skogsertifisering.

Arealbruk og biomangfold

- Det er vanskelig å beskrive indikatorer for et bærekraftig skogbruk som passer i LCA uten at LCA-metodene utvikles videre (Wessman et al. 2002, 2003).

Sammenfatning av tidligere publisert litteraturstudie:

Raymer et al. (2005):

- Gjennomgangen viste at en svakhet med mange eksisterende modeller er at kostnader og inntekter fra skogproduksjon ikke er inkludert.
- De avdekket et behov for å finne kostnadseffektiviteten og marginale kostnader ved endringer i skogbehandling eller arealbruk, i tillegg til å finne hvilken skogbehandling som er optimal med ulike formål for skogarealet. Dette kan ifølge Raymer et al. bare gjøres med optimaliseringsmodeller.
- Andre viktige faktorer som de mener bør tas med i slike analyser, er følsomhetsanalyser og sparte klimagassutslipp når trevirke brukes istedenfor mer energi-intensive materialer eller fossile brenslers. Så mange som mulig av de delene av karbonsyklusen som betyr noe, oppfordres til å tas med.
- De presenterer oversiktstabeller som viser: bestandsnivåmodeller brukt for karbonflyt i skogen, endret karbonlagring etter ett omløp på bestandsnivå, regionalt nivåsimuleringer for karbonflyt i skogen, og regionalt nivåoptimaliseringsmodeller for karbonflyt i skogen.

Sammenligning av ulike materialer

Tre vs. andre materialer

- I 60 % av studiene (12 studier) der tre ble sammenlignet med andre materialer, var tre det beste miljøalternativet, i 35 % av studiene (7 studier) var det ingen eller liten forskjell og i 5 % (1 studie) var alternative materialer best.

Livssyklusfaser i bygg

- Produksjon
 - o Produksjonsfasen gir høyere miljøpåvirkning enn rivingsfasen. Den største påvirkningen gjennom produksjonsfasen ble i denne studien oppnådd ved produksjon av de ulike råmaterialene brukt i de undersøkte bygningene (Björklund og Tillman 1997)
 - o Produksjon av materialer av tre gir et lavere bidrag til drivhuseffekten enn produksjon av sammenlignbare byggmaterialer (Norén og Jarnehammar 2001, Petersen og Solberg 2002c, 2003).
- Bruksfase
 - o I livssyklusfasene til boliger og kontorbygg er det bruksfasen som utgjør det største energiforbruket, ca. 85-93% (Adalberth 2000, Fossdal 1995, Björklund og Tillman 1997) og den største miljøpåvirkningen, 70-90 % (Adalberth 2000), 45-75 % (Junnila 2004).
- Avfallshåndtering og resirkulering
 - o Netto drivhusgassbalanse, og energi som frigjøres ved gjenvinning, for trematerialer vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving av bygningen. Det er ikke nok å konkludere med at et materiale er gjenbrukbart, men også formen for gjenvinning og hvordan det blir klargjort for demontering må oppgis (Borjesson og Gustavsson 2000, Petersen og Solberg 2002a, c, Thormark 2000, 2002, 2006). [Dette avhenger også av hvor man setter systemgrensene. I ny standard for miljødeklarasjoner tilfaller energiutnyttelsen neste system, dvs. de som nyttiggjør seg bioenergien]
 - o Det kan ha større betydning for energiregnskapet å prosjektere en bygning for resirkulering enn å bruke materialer som krever lite energi å produsere (Thormark 2000, 2002, 2006).

Bygningskomponenter

- Gulvkonstruksjoner
 - o I de undersøkte studiene har tregulv generelt et miljøfortrinn når det gjelder energibruk og utslipp av CO₂ sammenlignet med andre materialer (Petersen og Solberg 2002a, 2003, 2004, Jarnehammar 1998, Jönsson et al. 1995, 1997).
 - o En studie viste at trekonstruksjon er verre enn betongkonstruksjon når det kommer til forsuring, eutrofiering og dannelse av fotokjemisk ozon (Jarnehammar 1998).
- Bærekonstruksjoner
 - o I miljøsammenligninger som omhandlet bærekonstruksjoner, ble tre funnet best i 44 % av studiene (4 studier), tre kom ut likt med konkurrerende materialer i 44 % (4 studier) mens betong kom best ut i 11 % (1 studie).

- Yttervegger
 - o Lengre levetid og lavere vedlikeholdsbehov er en fordel ut fra miljøsynspunkt så lenge tiltakene for å forbedre disse ikke gir en større påvirkning til det ytre miljøet (f.eks. som miljøbelastning ved produksjon)
 - o Tre ble funnet å være det beste miljøalternativet i yttervegger i de to studiene som er med i denne rapporten

Sammenfatning av tidligere publiserte litteraturstudier:

To studier konkluderer med at tre generelt er bedre enn konkurrerende materialer, én konkluderer med at tre er best under noen gitte forutsetninger.

Brunklaus og Baumann (2002):

- Universitetsstudiene viser ingen forskjell mellom tre og andre materialer sett over husets levetid.
- Hvis man bare betrakter produksjonen av hus, viser det at tre er et noe bedre miljøalternativ, men marginene er ikke store (ca < 20 %).
- Miljøpåvirkningen ved produksjon "drukner" likevel i miljøpåvirkningen som følge av bruk av huset ifølge universitetsstudiene i undersøkelsen.
- Forfatterne konkluderer med at tre bare kan ses som et bedre miljøalternativ under visse forutsetninger som gis i artikkelen.

Petersen og Solberg (2005):

- I alle studiene referert til i denne oversikten, er tre et bedre alternativ enn andre materialer med hensyn til drivhusgassutslipp.
- Videre forårsaker tre mindre utslipp av SO₂ og genererer mindre avfall sammenlignet med alternative materialer.
- Tre behandlet med trebeskyttelsesmidler kan på den andre siden forårsake en toksisk påvirkning på menneskers helse og på økosystemet.
- Når det gjaldt forsuring, overgjødning og bakkenært ozon, var resultatene varierende mellom studiene.

Norén og Jarnehammar (2002):

- Miljøpåvirkningen av trebygninger er lavere enn for bygninger av andre materialer.
- Det er behov for standardisering og harmonisering av LCA-verktøy og miljøaspektene i bygningsstandardene. Det er også viktig å etablere et velorganisert system for å samle inn miljødata for bygningsmaterialer og prosesser.
- Et analyseverktøy kan være sofistikert og inkludere mange aspekter, men uten representative data vil det ikke bli pålitelige resultater, spesielt når en sammenligner bygninger og strukturer av ulike materialer.

Nøkkelord: Livsløpsanalyser, trebeskyttelse, holdbarhet, miljøpåvirkning, levetidsestimering.

Key words: Life Cycle Assessment, wood protection, environmental effect, Service Life Prediction.

INNHold

1	Forord	5
2	Bakgrunn	6
2.1	Tre som ressurs i Norge	6
2.2	Tre og CO ₂	7
2.3	Betong, stål og CO ₂	10
2.3.1	Betong	10
2.3.2	Stål	10
2.4	Forklaring på brukte ord og uttrykk.....	11
3	Miljøanalyser	12
3.1	Hva er LCA?	12
3.2	Hva er SLP?	14
3.3	Fra frø til plank.....	15
3.3.1	Planteskoler	16
3.3.2	Skogbruk	16
3.3.3	Modellering	18
3.3.4	Arealbruk og biomangfold.....	19
3.3.5	Tre som energi.....	20
3.3.6	Cost Action E9	20
3.3.7	Litteraturstudie	21
3.4	Sammenligning av ulike materialer	22
3.4.1	Tre vs. andre materialer	22
3.4.2	Livssyklusfaser i bygg	27
3.4.2.1	Produksjon.....	27
3.4.2.2	Bruksfase	28
3.4.2.3	Avfallshåndtering og resirkulering	28
3.4.3	Bygningskomponenter	30
3.4.3.1	Gulvkonstruksjoner	30
3.4.3.2	Vinduer.....	31
3.4.3.3	Bærekonstruksjon.....	31
3.4.3.4	Takbjelker.....	33
3.4.3.5	Yttervegger.....	33
3.4.4	Litteratursammenligninger.....	34
3.5	Videre forskning.....	36
3.5.1	Igangsatte prosjekter	36
3.5.2	Forslag til nye prosjekter.....	37
4	Trevirkets holdbarhet.....	38
4.1	Nøkkelfaktorer for biologisk nedbrytning.....	39
4.2	Trebeskyttelse.....	40
4.2.1	Naturlig holdbarhet	42
4.2.2	Konstruktiv beskyttelse.....	43
4.2.3	Overflatebehandling	44
4.2.4	Impregnering	45
4.2.5	Modifisering av tre	45
4.2.5.1	Kjemisk modifisering.....	46
4.2.5.2	Termisk modifisering (varmebehandling).....	47
4.2.5.3	Impregneringsmodifisering/passiv modifisering.....	48
4.2.6	Testmetoder for trebeskyttelsessystemer.....	48
4.3	Videre forskning.....	50
4.3.1	Igangsatte prosjekter	50
4.3.2	Forslag til nye prosjekter.....	51
5	Referanser.....	52
	Appendiks 1	59
	Appendiks 2.....	95

1 FORORD

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra Landbruks- og matdepartementet (LMD).

Det er et økende krav til standardisert miljødokumentasjon av byggematerialer og bygg, blant annet gjennom byggforskrifter og standardisering (CEN TC 350). Bakgrunnen for oppdraget var at LMD hadde behov for en helhetlig og balansert oppsummering, basert på eksisterende kunnskap og utredninger, om miljøpåvirkningen ved bruk av tre. Særlig fokus var ønsket på livsløpsanalyser (LCA), men også sammenstilling av kunnskap om status på trebeskyttelse samt levetidsbetraktninger (SLP). Skog og landskap ble også bedt om å komme opp med idéer til nye forskningsprosjekter som ytterligere klargjør trevirkets miljøpåvirkning.

Denne litteratursammenstillingen om miljøanalyser ved bruk av tre er basert på norske, svenske og finske studier. Dette fordi en avgrensning av studien var nødvendig, samtidig som byggtradisjoner, klimaforhold og naturgrunnlag i Sverige og Finland vurderes å være sammenlignbart med Norge. Litteratursammenstillingen av miljøanalyser er todelt 1) skogbrukets og skogindustriens miljøpåvirkning fra frø til plank, 2) sammenligning av materialvalg i ulike bygninger og konstruksjoner. Både LCA og andre studier som ser på miljøeffekter, er tatt med. Forfatterne har ikke sett på det som sin oppgave å gi kvalitetsvurderinger av arbeidene i denne litteratursammenstillingen. Det er viktig å påpeke dette, da den vitenskapelige kvaliteten av de refererte arbeidene er noe varierende. Generelt kan man si at de strenge kravene knyttet til publisering i vitenskapelige journaler med peer-reviw er med på å sikre kvaliteten. Men det er dermed ikke sagt at andre arbeider nødvendigvis er av dårligere kvalitet. LCA metodikken er under stadig utvikling, og enkelte av arbeidene i denne rapporten er derfor preget av noe sprikende metodikk. For mange av studiene er det derfor vanskelig å foreta noen direkte sammenligninger fordi mål, studieobjekt og funksjonell enhet varierer, samt at det i varierende grad er oppgitt hvilke avgrensninger som er gjort. Det arbeides nå med standardisering av LCA, både for bygg og miljødeklarasjoner for treprodukter, noe som vil gjøre fremtidige studier lettere å sammenligne. Litteraturen er sammenfattet under temaer studiene omhandler og i en tabell (Tabell 1) som sammenligner ulike materialer. Alle studiene er også oppsummert alfabetisk mer utførlig i tabellform i Appendiks 1. Forfatterne kommer ikke med egne betraktninger i denne rapporten, kun sammenstilling av eksisterende litteratur. Språket i denne sammenfatningen vil variere, da det i så liten grad som mulig er gjort endringer i teksten fra originalarbeidene. Litteraturen i denne rapporten er hovedsakelig basert på søk i litteraturl databaser. Supplerende litteratur uten referee har blitt fremskaffet via nettsøk og fra litteraturhenvisninger i allerede innhentet litteratur.

Sammenstillingen av kunnskap om trebeskyttelse og levetidsbetraktninger er basert på internasjonal kunnskap, men legger størst vekt på nordiske forhold.

Skog og landskap har fått viktige innspill til rapporten fra Gro Hysten ved seksjon Landsskogtakseringen ved Skog og landskap, Silje Wærp ved SINTEF Byggforsk, Professor Birger Solberg og Lone Gobakken ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Lone Gobakken har i tillegg bidratt med kapittelet om overflatebehandling.

Ås, 25. januar 2008

Gry Alfredsen

2 BAKGRUNN

2.1 Tre som ressurs i Norge

Å vite hvor mye trevirke som finnes i skogen, er viktig for mange formål. Mange næringsvirksomheter vil vite hvor mye tømmer som finnes nå, og som kommer til å bli tilgjengelig i framtida. Skog binder CO₂, og mengde CO₂-binding avhenger av volum og tilvekst. Skogressurser som kilde til bioenergi er nå et stort satsingsområde.

Arbeidet med Landsskogtakseringen ble påbegynt i 1919. Bakgrunnen var en bekymring og uvisshet om tilstanden i våre skoger. Det hersket en sterk frykt for at skogen gjennom lengre tid var blitt for hardt utnyttet. Uten nødvendig oversikt over situasjonen var det vanskelig å sette inn riktige tiltak, og man hadde dårlig kontroll med utviklingen. Norge var det første landet i verden som startet en systematisk taksering for å sikre en bærekraftig utvikling av skogen. Siden starten har det blitt utført åtte mer eller mindre landsdekkende takseringer. Landsskogtakseringen kan forutsi hvor mye råstoff det vil være i skogen i fremtida, gitt visse betingelser, gjennom prognoseberegninger.

Stående volum viser en kraftig økning fra 1925 og frem til i dag. Ved første takst var det stående volumet 312 millioner kubikkmeter under bark, mens dagens volum basert på registreringer i perioden 2002-2005 er på 736 millioner kubikkmeter under bark.

Årlig tilvekst har økt fra 10,7 millioner kubikkmeter under bark i 1925 til 25,7 millioner kubikkmeter pr. år i perioden 2002-2005. Tilveksten hos furu ser ut til å flate noe ut. Dette skyldes at mye av furuskogen begynner å bli svært gammel.

Under er det summert opp noen nøkkeltall fra skogen i Norge. Tallene er fra Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2000-2004 (Larsson og Høyen 2007).

Norges landareal: 31 mill. ha

Areal under barskogsgrensa: 14,9 mill. ha (54 %)

Produktivt skogareal: 7,6 mill. ha (28 %)

Skogbruksmark: 7,4 mill. ha (97,3 %)

Hogstklasse 1: 0,30 mill. ha (4 %)

Hogstklasse 2: 1,6 mill. ha (21 %)

Hogstklasse 3: 1,4 mill. ha (18 %)

Hogstklasse 4: 1,6 mill. ha (21 %)

Hogstklasse 5: 2,6 mill. ha (35 %)

Verna områder: 0,11 mill. ha (1,5 %)

Annen anvendelse: 0,09 mill. ha (1,2 %)

Uproduktivt skogareal: 1,7 mill. ha (6 %)

Trebevokst myr: 0,60 mill. ha (2 %)

Snau myr: 0,77 mill. ha (3 %)

Andre arealer: 4,2 mill. ha (15 %)

Areal over barskogsgrensa: 12,6 mill. ha (46 %)

Treslagsfordeling (fra 5 cm og oppover):

gran 2969 mill. trær (36 %)

furu 1389 mill. trær (17 %)

løv 3995 mill. trær (48 %)

Volum uten bark (all arealanvendelse):

Produktivt skogareal: 680,5 mill. m³ (94 %)

Uproduktivt skogareal: 32,8 mill. m³ (5 %)

Trebevokst myr: 7,5 mill. m³ (1 %)

Tilvekst (all arealanvendelse):

Produktivt skogareal: 24, 8 mill. m³ (97 %)

Uproduktivt skogareal: 0,62 mill. m³ (2 %)

Trebevokst myr: 0,15 mill. m³ (1 %)

Trekonstruksjoner i form av lett bindingsverk benyttes i om lag 90 prosent av nye småhus og fritidshus i Norge (Berge og Stoknes 2004). For boligblokker og næringsbygg er treforbruket lavere. Endringer i byggeforskriftene medfører at man generelt tillater mer tre, også i fleretasjes hus. Samtidig har man nå tilgjengelig nye byggeteknikker for tre, blant annet massivtrekonstruksjoner og andre prefabrikkerte løsninger. Et viktig spørsmål er da hvilken effekt bruk av tre har på miljøet.

2.2 Tre og CO₂

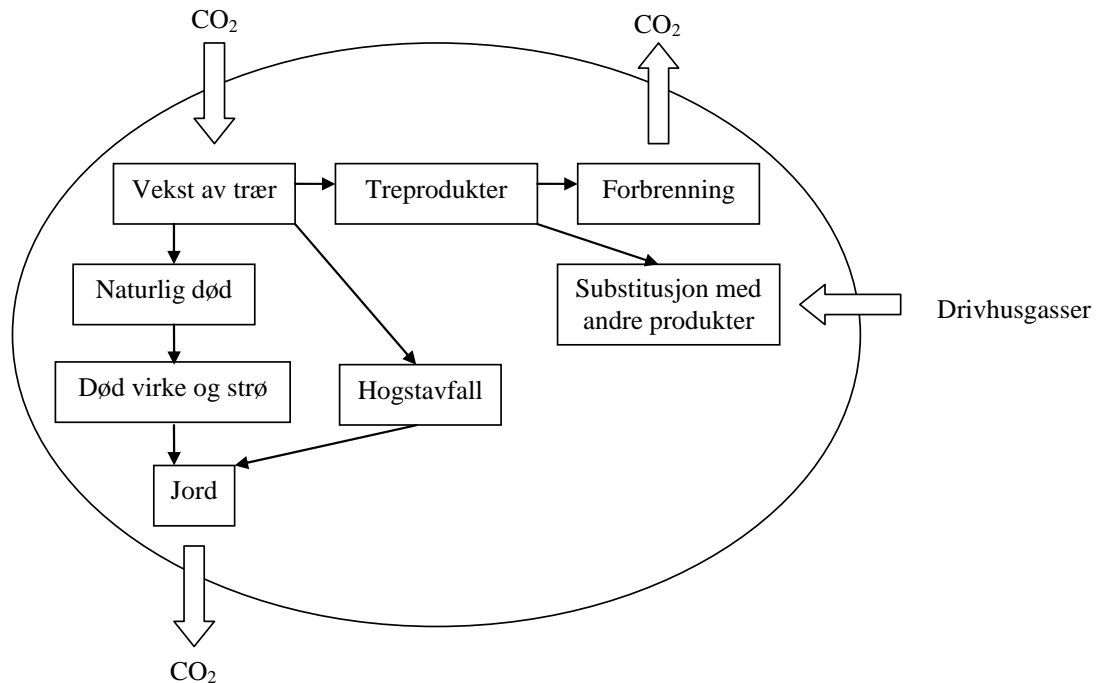
Konsentrasjonene av klimagassene karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og lystgass (N₂O) i atmosfæren har økt markert som resultat av menneskelige aktiviteter siden 1750. CO₂ er den viktigste klimagassen, og utslippene økte med 80 % fra 1970 til 2004. Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren lå i 2005 langt over nivåene for de siste 650 000 årene. Økte CO₂-konsentrasjoner skyldes primært utslipp fra bruk av fossile brensler, mens endringer i arealbruk utgjør et mindre, men likevel merkbart bidrag. Det er svært sannsynlig at økningen i metankonsentrasjoner i hovedsak skyldes landbruk og fossil energi, mens lystgass i første rekke stammer fra landbruk. Ifølge FNs klimapanel (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) har CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren økt med over 30 % fra industrialiseringen startet og frem til i dag, og fortsetter å øke med minimum 0,4 % pr. år, i hovedsak som følge av forbrenning av fossile brensler (IPCC 2007a). Strategier for å begrense klimaendringer inkluderer reduksjon av utslipp av klimagasser og økt karbonlagring utenfor atmosfæren.

Norges klimagassutslipp er på 54 mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Overvåking av CO₂-binding i skog har blitt en del av rapporteringen gjennom Landsskogtakseringen, som følge av krav fra FNs klimakonvensjon og Kyoto-avtalen. Tallene rapporteres hvert år, og er beregnet etter FNs retningslinjer i forbindelse med beregning av utslipp og opptak av klimagasser som følge av arealbruksendringer og endringer i skog. På bakgrunn av dataene i Landsskogtakseringsdatabasen og biomassefunksjonene som blir brukt i karbonregnskapet, er det beregnet at det bindes ca.1,6 tonn CO₂ pr. m³ i produktiv skog. Dette tallet omfatter alle treets deler: stamme, greiner, nåler/blader, bark, stubbe og røtter. Eksisterende norsk skog tar opp nær 27 mill. tonn CO₂. Den totale bindingen av klimagasser har økt med ca. 85 % fra 1990 til 2005. Den økte biomassen er et resultat av den aktive skogpolitikken som er utøvet de siste 50 årene. I tillegg er den årlige avvirkingen mye lavere enn den årlige tilveksten i norske skoger, som igjen har ført til en akkumulering av biomasse og dermed økt binding av CO₂.

Trær blir hogd eller dør av naturlige årsaker. All død ved og hogstavfall brytes sakte ned, og CO₂ lagret i dødt virke vil derfor sakte avgis til atmosfæren. Trevirke høstet fra skogen vil få ulike livsløpslengder. Treprodukter binder karbon så lenge de er intakte, og de kan dessuten benyttes som energikilde etter endt levetid. Noe ulike tall oppgis for binding av CO₂ i trevirke. På internettsidene til Norsk treteknisk institutt (www.treteknisk.no) oppgis det at ved bruk av 1 m³ tre i bygg, lagres 0,8 tonn CO₂ lagres i bygningsmassen. UMB oppgir på sine hjemmesider (www.umb.no) at 0,7 tonn CO₂ pr. kubikkmeter gjennom trelastens levetid. IPCC oppgir at det for 1 m³ trevirke lagres om lag 0,92 tonn CO₂ (basert på at trevirket har en tørrdensitet på 0,5 g/cm³ og et karboninnhold på 0,5 g C/g). En typisk enebolig inneholder ifølge www.treteknisk.no mellom 12 - 20 m³ tre.

Det er økende interesse for å benytte biomasse fra skog til å begrense klimaendringer ved å substituere mer karbonintensive produkter som stål, aluminium og betong (Schlamadinger og Marland 1996, Gustavsson et al. 2006). Karbon lagres i treprodukter og biomasse fra skog/tre-

produktkjeden kan benyttes som bioenergi og erstatte fossile brensler. I tillegg kan treproduktene benyttes som bioenergi etter endt brukstid (Sathre 2007). En forenklet oversikt over karbonbinding i skog og treprodukter er vist i Figur 1.



Figur 1. En forenklet oversikt over karbonbinding i skog og treprodukter. (Basert på (Raymer 2005).

Ifølge (IPCC 2007b) oppnås den teoretisk maksimale karbonlagring i et skogområde når alle bestand har høy alder (gammelskog). Dette er i praksis ikke mulig å oppnå, siden naturlige og menneskeskapte påvirkninger bidrar til at det over et større område vil være bestand med ulik alder til enhver tid. I det lange løp vil en skogbehandling som bidrar til å opprettholde eller øke skogens karbonlagring samtidig som skogen produserer nyttbart trevirke, fiber eller energi, gi den største effekten i klimasammenheng. Globalt er avskoging den største trusselen (IPCC 2007b).

Globalt er mengden karbon i jord beregnet til å være dobbelt så høy som i atmosfæren og tre ganger så høy som det som er bundet i vegetasjon (IPCC 2007a). Det er særlig de boreale skogene som har et høyt innhold av karbon i skogsjorda. Dixon et al. (1994) estimerte at om lag halvparten av det bundne karbonet på landjorda finnes i skogøkosystemene, og at to tredjedeler av karbonet i skogøkosystemene finnes i skogsjorda. Avvirkning kan påvirke strukturen og funksjonene i skogbunnen. Det organiske sjiktet i øvre del av skogsjorda spiller en aktiv rolle i karbon- og næringsstoffsyklusene, og er sannsynligvis mer påvirket av endringer enn det organiske materialet i underliggende mineraljord (Currie 1999, Currie et al. 2002). Avvirkning har vært antatt å redusere karboninnholdet i det øvre organiske sjiktet i jorda. Covington (1981) beregnet en kurve for å estimere tapet av organisk materiale fra det øvre sjiktet i skogbunnen, og ifølge denne kurven reduseres det organiske materialet med 50 % innen 20 år fra avvirkning. Denne reduksjonen ble forklart med at mengden strøfall blir redusert når trær fjernes og mulig økt nedbrytning av organisk materiale i jorda. Yanai et al. (2003) mener imidlertid, basert på resultater fra senere studier, at avvirkning har langt mindre effekt på karboninnholdet i skogsjord enn det som ble estimert av Covington. Johnson og Curtis (2001) analyserte en rekke undersøkelser gjennomført for å studere effekten av skogbehandling på innholdet av karbon og nitrogen i jord.

De fant at avvirkning der kun stammevirket ble tatt ut, bidro til økt innhold av karbon og nitrogen i mineraljordsjiktet i jorda. Den positive effekten så ut til å være begrenset til å gjelde bartrevirke. Heltreavvirkning bidro til redusert innhold av karbon og nitrogen i jorda. Økt omløpstid kan bidra til å øke den totale bindingen av karbon i skogsjord, selv om resultater fra undersøkelser er lite entydige (Kaipainen et al. 2004, Liski et al. 2001). Kolari et al. (2004) studerte karbonbalansen i furuskog med ulik alder i Sør-Finland. Bestandene var 4, 12, 40 og 75 år. Grunnet kort måleperiode er det forbundet noe usikkerhet ved målingene, men hogstflater (4 år) var klart en netto karbon kilde. På sommerstid var hogstflaten en svak karbonsluk grunnet høy fotosyntese i bakkevegetasjonen. Karbonbudsjettet for den 12 år gamle skogen var nesten i balanse. Den 40-år gamle skogen var en kraftig CO₂ sluk. I tillegg hadde det mer karbon i jorda enn de andre bestandene. Bestandet hadde størst fotosynteseproduksjon, men grunnet stor CO₂ utstrømming fra jord, var den årlige CO₂ bindingen mindre enn i den 75-år gamle skogen. Det eldste bestandet var nær slutten på omløpsperioden, men det viste ingen tegn til nedgang i CO₂ binding og hadde høyere CO₂ beholdning enn det 40-år gamle bestandet. Netto karbonbinding ser derfor ut til å holde seg høy opp til minst 75-år alder i furubestand. I Kyoto-protokollen foreslår at forvaltning av naturlige terrestriske karbonsluk, primært nyplanting og skogfornyelse på global skala, kan øke sluk styrken og redusere atmosfærisk CO₂. Schulze et al. (2000) diskuterer problemene knyttet til definisjonen av karbonsluk og analyserer konsekvensene av brann og høsting i forhold til bestandsalder. I kontrast til sluk forvaltningen foreslått i Kyoto protokollen, som favoriserer unge bestand, argumenterer de for at beskyttelse av naturlig gammelskog kan ha større effekt på karbonsyklus enn fremming av gjenvekst. Intensivering av høsting ved å fjerne hogstavfall gir normalt en nedgang i karbon i jord (Johnson og Curtis 2001, Ågren og Hyvönen 2003) grunnet fjerningen av organisk materiale som ellers ville gått tilbake til jorda. Gjødsling øker produksjonen av avfall som går tilbake til jorda og påvirker medbrytningen av organisk materiale i jord. Det har blitt funnet at CO₂ utslipp avtar etter tilføring av nitrogen gjødsling (Martikainen et al. 1989, Nohrstedt et al. 1989). Eriksson et al. (2007) analyserte netto karbonutslipp ved ulike skogbehandlingsregimer og produktutnyttelse. Simuleringer ble gjennomført basert på tre skogbehandlingsalternativer for vanlig gran (tradisjonell, intensiv, intensiv gjødsling), tre alternativer for fjerning av hogstavfall (ingen fjerning av hogstavfall, fjerning av hogstavfall, fjerning av hogstavfall og stubber), to skogprodukter (konstruksjonsvirke, biobrensel) og to fossile brensler som referanse (kull, naturgass). Forfatterne fant at intensiv skogproduksjon med gjødsling og dessuten uttak av hogstavfall og stubber til bioenergi ved sluttavvirkning, fører til lavere CO₂-utslipp sammenlignet med tradisjonell skogbruk. De sier videre at den økte energibruken og karbonutslippet ved mer intensiv skogbehandling, samt redusert akkumulering av karbon i skogsjorda som følge av fjerning av økt mengde biomasse ved avvirkning, blir mer enn kompensert ved reduksjon i utslipp som følge av substitusjonseffekten. Produksjon av gjødsel medfører stort energiforbruk og CO₂ utslippet. Ved nitrogen gjødsling av landbruksareal går 91 % av energien med til produksjon, 2 % til transport og 7 % til spredning (Erlingsson (2008). I følge Yara og Eriksson (2007) vil gjødsling i svensk skog medføre følgende CO₂ og energiforbruk i ulike trinn:

- produksjon av gjødsel – 0,55 tonn/ha tilsvarende 150 kgN/ha (1020 kg CO₂/ha (ekviv.), 6000 MJ)
- transport – 3 liter diesel/ha (8 kg CO₂/ha, 130 MJ)
- spredning av gjødsel – 5 liter diesel/ha (13 kg CO₂/ha, 220 MJ)

Deres tall for vekst økning i skogen, 15 m³sk/ha, tilsvarte 10500 kg CO₂, 102500 MJ (energi i tre). Skogskjøtsel påvirker også det biologiske mangfoldet. Skogsertifisering er et verktøy for å dokumentere at skogene forvaltes på en bærekraftig måte i tråd med avtalte standarder, dvs. konkrete retningslinjer for hvordan skogen skal drives bærekraftig. Tiltak som antas å øke karbonbindingen, for eksempel gjødsling, vil kunne bidra til en endring i artssammensetningen. Det samme vil økt uttak av hogstavfall og røtter. Slike tiltak vil måtte vurderes opp mot blant annet punkt 10 - Gjødsling og næringsbalanse, i Levende skog sine 25 kravpunkter.

2.3 Betong, stål og CO₂

I følge Halloran (2007) kan om lag 10-13% av globale CO₂ utslipp relateres til sement- og stålproduksjon.

2.3.1 BETONG

Betong er et komposittmateriale av lav-kost materialer (stein, sand, grus, ca 2/3), holdt sammen med et bindemiddel av sement (ca. 1/3) (Halloran 2007). Hoveddelen av CO₂-utslipp fra produksjonen av betong er relatert til fremstilling av sement. Produksjonen av sement innbefatter å varme opp kalkstein og leire opp til 2500-3000 grader F (1371-1648 °C). Noe av CO₂-utslippene kommer fra fossilt brensel til varme ved produksjon av sement (noe som kan endres), men 60 % kan ikke unngås da det skyldes produksjon av CO₂ fra produksjonen av kalk CaO fra kalkstein CaCO₃. Tall fra Padea og Guimaraesb (2007) og no.wikipedia.org viser samme forhold, at ca 50 % av CO₂-utslippene kommer fra spalting av kalkstein under oppvarming (prosessutslipp), og ca 50 % kommer fra bruk av fossile brensel (forbrenningsutslipp). Her er det viktig å være klar over at den prosessen som slipper ut CO₂ ved spalting av kalkstein delvis reverseres når betongen over tid karbonatiseres. Under karbonatiseringen reagerer stoffer i betongen med CO₂ i luften, og betongen binder på den måten 5-20 % av CO₂ som ble sluppet ut under sementproduksjonen. Denne effekten er i høy grad påvirket av hvordan betong håndteres etter riving. Riving med påfølgende knusing av betong ved endt levetid øker mengden av karbonatisering signifikant (Padea og Guimaraesb 2007). Karbonatisering av betong har tradisjonelt blitt sett på som en nedbrytningsmekanisme fordi den senker pH i betong (Padea og Guimaraesb 2007). Flower og Sanjayan (2007) fant at endringer i sementblandingen kan bidra til å senke CO₂-utslippene.

Globale utslipp:

- Den totale globale sementproduksjonen forårsaker rundt 5 % av global antropogent CO₂ (Halloran 2007, Padea og Guimaraesb 2007, no.wikipedia.org).

Norske utslipp:

- Utslippene fra sementproduksjonen i Norge er vesentlig lavere enn de globale gjennomsnittstallene, ca. 1 % av Norges totale utslipp (no.wikipedia.org).

Utslipp CO₂ pr. tonn produsert sement:

- Rundt 0,9 tonn av CO₂ slippes ut pr. tonn produsert sement i følge Halloran (2007), mens no.wikipedia.org anslår et noe høyere tall, ca. 1 tonn CO₂ for hvert tonn sement som produseres.

Utslipp CO₂ pr. m³ produsert sement:

- CO₂ utslippene som produseres ved typisk betongblandinger med normal styrke (Portland sement som den eneste binder) ble funnet å være mellom 0,29 og 0,32 tonn CO₂ ekv./m³ (Flower og Sanjayan 2007).
- På global basis slippes det ut ca 0,3 tonn CO₂ for hver m³ betong (no.wikipedia.org).

2.3.2 STÅL

Etterspørselen etter stål har økt kraftig i land som har vært i et tidlig trinn i en rask økonomisk utvikling, som Japan i 1960 årene. Nylig har Kina nådd dette stadiet, og India vil også snart nå dette stadiet. Global stålproduksjon har opprettholdt en oppadgående trend for de siste fem årene og har nådd 1058 mill tonn av ubehandlet stål i 2004 (IISI 2005). Produksjon av stål skjer ved å redusere jernoksid med karbon for å fjerne oksygen som CO₂ og å fjerne urenheter av mineraler ved å blande med CaO (fra CaCO₃) i en masovn. CO₂ slippes ut ved ulike deler av jern- og

stålproduksjonen: 1) direkte prosessrelaterte utslipp, 2) forbrenning av fossilt brensel, 3) indirekte utslipp fra elektrisitetsforbruk gjennom produksjonsprosessen (Wang et al. 2007). Stål som brukes i konstruksjoner, som f.eks. armeringsjern, er ofte laget fra resirkulert stål heller enn jomfruelig stål fra malm, og representerer derfor tidligere CO₂ produksjon (Halloran 2007). I følge OECD/IEA (2000) er jern- og stålindustrien den mest energikrevende industrien i verden så vel som en av de største kildene til CO₂ utslipp.

Globale utslipp:

- Med en global stål produksjon på 0,85 Gt/år utgjør stålproduksjonen rundt 5 % av antropogent CO₂ (Halloran 2007).
- Når man tar alle utslipp med, bidro stål- og jernindustrien for 4,1 % av verdens totale CO₂ utslipp og 3,2 % av alle drivhusgassutslipp i 2000 (Wang et al. 2007).
- Stålindustrien er en av de mest energiintensive sluttbrukersektorene og slipper ut rundt 590 Mt karbon, tilsvarende 5,2 % av de globale antropogene drivhusgassutslippene i 2004 (OECD 2005).
- Jern- og stålindustrien slipper ut rundt 650 mill. tonn CO₂ pr. år og er den fjerde største industrien i forbruk av fossilt brensel (IPCC 2001).

Utslipp CO₂ pr. tonn produsert stål:

- Ca. 1,5 tonn CO₂ slippes ut for hvert tonn jern produsert i en masovn. Mer CO₂ produseres når jern konverteres til stål (Halloran 2007).
- Gjennom produksjonen av ubehandlet stål slippes det ut rundt 2,2 tonn CO₂ pr. tonn stål (Orth et al. 2007).

2.4 Forklaring på brukte ord og uttrykk

EPD = Environmental Product Declaration. EPD er en miljødeklarasjon type III i tråd med ISO 14040-serien med standarder.

fub = avirket virke uten bark

Funksjonell enhet: Kvantifisert prestasjon for et produktsystem til bruk som en referanseenhed i en livsløpsvurdering (NS-ISO 14025 2006).

HVAC = heating, ventilation og air condition

Livsløp: Stadier i et produktsystem som følger etter hverandre og er sammenkjedet, fra anskaffelse av råmaterialer eller fremskaffelse fra naturressurser til den endelige avhendingen (NS-EN ISO 14040 2006).

Livsløpsregnskap (LCI): Fase i livsløpsvurderingen som omfatter sammenstillingen og kvantifiseringen av inngangsfaktorer og utgangsfaktorer for et bestemt produktsystem gjennom dets livsløp. (LCI = Life Cycle Inventory analysis) (NS-EN ISO 14040 2006).

Livsløpsvurdering (LCA): Sammenstilling og evaluering av inngangsfaktorer, utgangsfaktorer og de potensielle miljøpåvirkningene til et produktsystem gjennom dets livsløp. (LCA = Life Cycle Assessment) (NS-EN ISO 14040 2006).

LCC = Life Cycle Cost

Miljøaspekt: Del av organisasjonens aktiviteter, produkter eller tjenester som kan innvirke på miljøet (NS-ISO 14025 2006).

Miljøbelastninger: Samlebegrep for faktorer som påvirker miljøet på en uheldig måte.

Miljøpåvirkning: Enhver endring i miljøet, enten den er ugunstig eller fordelaktig, som helt eller delvis skyldes en organisasjons miljøaspekter (NS-ISO 14025 2006).

Produkt: Enhver vare eller tjeneste (NS-ISO 14025 2006).

SLP = Service Life Prediction (Anslag på levealder for et ferdig produkt).

VOC = Volatile Organic Compounds

3 MILJØANALYSER

3.1 Hva er LCA?

Stadig skjerpede miljøkrav til bedrifter har presset frem behovet for et enhetlig regelverk for miljødokumentasjon. Problemer med tolkningen av bærekraftig utvikling, som ble lansert i Brundtland-rapporten "Our Common Future" i 1987, bidro til at arbeidet med internasjonale standarder for miljøstyring kom i gang. Suksessen med ISO 9000-standardene for kvalitetsstyring var en viktig faktor til at miljøstandardene ISO 14000-serien ble etablert. Formålet med utviklingen av ISO 14000-serien var å oppnå internasjonal enighet om innholdet i standarder for miljøstyring, både krav til system og retningslinjer for bruk av miljøverktøy. Utviklingen av standardene i ISO 14000-serien har gått raskt. Totalt finnes det 19 standarder, 6 tekniske rapporter og 2 ISO-guider innen hele ISO 14000-serien. To av standardene er blitt utarbeidet med tanke på sertifisering – ISO 14001 og ISO 14025. De andre standardene inneholder retningslinjer for bruk av ulike typer miljøverktøy. Alle standardene danner et forløp av aktiviteter som binder sammen de ulike miljøverktøyene i det praktiske arbeidet med miljøstyringen. (Dette avsnittet er utdrag fra Roseng 2003).

ISO 14040-serien: Livsløpsvurderinger, beskrivelse av miljøegenskapene til produkter. Prioritere miljøaspekter.

ISO 14062: Miljøtilpasset design, forbedringer av miljøegenskapene til produkter. Integrere miljøaspekter i produktutviklingen.

ISO 14020-serien: Miljømerking og deklarasjoner, informasjon om miljøegenskapene til produkter. Kommunisere miljøprestasjon.

ISO 14063: Miljøkommunikasjon, kommunikasjon av miljøprestasjonen. Kommunisere miljøprestasjon.

ISO 14030-serien: Miljøprestasjonsvurderinger, beskrivelse av miljøprestasjonen til organisasjoner. Overvåke miljøprestasjon.

ISO 19011: Miljørevisjon, underlag for å forbedre miljøsystemet. Overvåke overensstemmelse med system.

"Arbeidet med å ta frem ISO 14000 serien är förmodligen världens största miljöprojekt. Detta ger en indikation på de internationella standardernas betydelse" (SOU 1996).

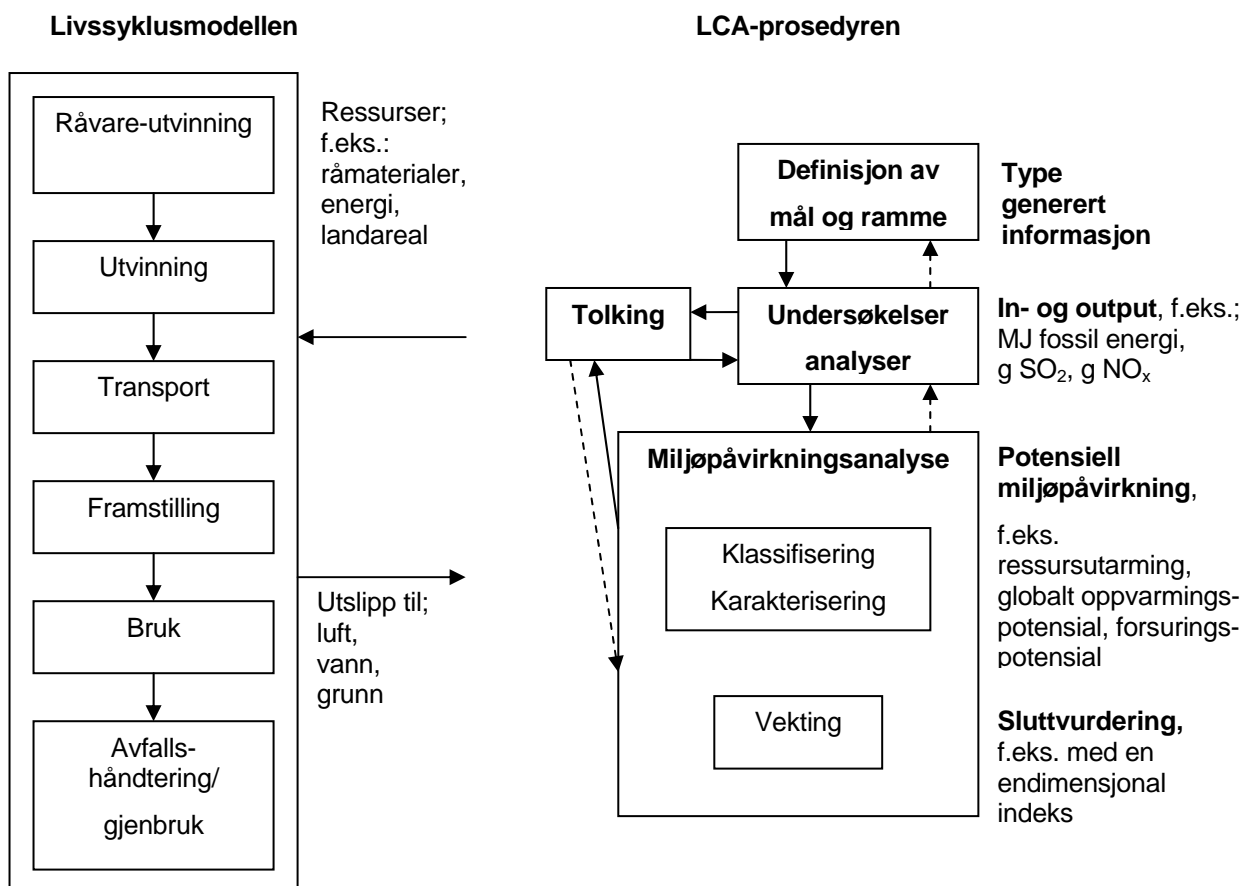
For å gjøre beskrivelsen av LCA så nøyaktig som mulig er alt i kapittelet under hentet fra NS-EN ISO 14044 (2006). Økt oppmerksomhet omkring viktigheten av miljøvern og mulige påvirkninger knyttet til produkter (i ISO 1440 omfatter denne termen også tjenester), både produserte og forbrukte, har økt interessen for utarbeidelse av metoder for bedre å forstå og ta hensyn til disse påvirkningene. En av teknikkene som er utviklet til dette formålet, er livsløpsvurdering (LCA).

LCA kan være et hjelpemiddel til å

- identifisere muligheter til å forbedre miljøprestasjoner for produkter på ulike steder i livsløpet,

- informere beslutningstakere i industrien, myndighetene eller frivillige organisasjoner (f. eks. med tanke på strategisk planlegging, prioritering, produkt- eller prosessutforming eller produktendringer),
- velge relevante indikatorer for miljøprestasjon, inklusive måleteknikker, og
- markedsføre (f. eks. iverksette et program for miljømerking, fremsette en miljøpåstand eller fremstille en miljødeklarasjon for et produkt).

LCA tar for seg miljøaspektene og mulige miljøpåvirkninger (f. eks. bruk av ressurser og miljømessige konsekvenser av utslipp) gjennom hele produktets livsløp, fra anskaffelse av råmateriale, gjennom produksjon, bruk, sluttbehandling, gjenvinning og endelig avhending (dvs. fra vogge til grav). Siden en bokstavelig tolkning av dette ofte vil gi en overveldende arbeidsmengde, er valg av avgrensinger viktig (Raymer 2005). Livssyklus i en LCA og prosedyren for å gjennomføre en LCA-studie er illustrert i Figur 2.



Figur 2. Livssyklus i en LCA og prosedyren for å gjennomføre en LCA-studie. Venstre side viser en fremstilling av modellen for livssyklus til et produkt. Det går med ressurser og energi til alle leddene i livssyklusen, samtidig som det er utslipp til omgivelsene. Transport er tegnet som en ramme, men det er transport mellom og innen flere av leddene i livssyklusen. På høyre side er det forsøkt å fremstille stegene i en LCA – fra å definere mål og rammer til en endelig vurdering av produktet. Det er utarbeidet et rammeverk i internasjonale standarder for LCA: ISO 14040, 14041, 14042 og 14043. Figuren er basert på Baumann og Tillman (2004).

Det er fire faser i en LCA-studie:

1. Fastsettelse av hensikten og omfanget

Omfanget av en LCA, inklusive systemgrensene og detaljeringsnivå, avhenger av emnet og den tiltenkte bruken av studien. Dybden og bredden av LCA kan variere betraktelig, avhengig av hensikten med en enkelt LCA.

2. Livsløpsregnskapsfasen

Livsløpsregnskapsfasen (LCI-fasen) er den andre fasen av LCA. Det er et regnskap over inngangsdata til- og utgangsdata fra det systemet som studeres. Det innbefatter innsamling av nødvendige data for å tilfredsstillere hensikten med den aktuelle studien.

3. Livsløpseffektvurderingsfasen

Livsløpseffektvurderingsfasen (LCIA) er den tredje fasen av LCA. Formålet med LCIA er å gi ytterligere informasjon til å vurdere produktsystemet LCI-resultater, slik at en bedre kan forstå den miljømessige betydningen av resultatene.

4. Tolkingsfasen

Livsløpstolkningen er den siste fasen av LCA-prosedyren. Det blir da laget et sammendrag av resultatene fra LCI eller LCIA, eller fra begge, og de blir diskutert slik at de kan danne grunnlag for konklusjoner, anbefalinger og beslutninger i samsvar med fastsatt hensikt og omfang.

Det er tilfeller der hensikten med en LCA kan tilfredstilles ved å gjennomføre bare et livsløpsregnskap og en tolkning. Dette betegnes vanligvis som en LCI-studie.

NS-EN ISO 14044 (2006) dekker to typer studier: livsløpsvurderingsstudier (LCA-studier) og livsløpsregnskapsstudier (LCI-studier). LCI-studier ligner LCA-studier, men tar ikke med LCIA-fasen. LCI-studier må ikke forveksles med LCI-fasen av en LCA studie.

Som regel kan den informasjonen som utarbeides i en LCA- eller LCI-studie, brukes som del av en mer omfattende beslutningsprosess. Sammenligning av resultatene fra ulike LCA- eller LCI-studier er mulig bare dersom forutsetninger og kontekst for alle studiene er ekvivalente. Derfor inneholder NS-EN ISO 14044 (2006) flere krav og anbefalinger for å sikre åpenhet omkring disse sakene.

Definisjon av egnede systemgrenser er viktig. LCA har blitt kritisert fordi systemgrensene underestimerer mengden av ressurser og energi som trengs, og ved dette også påvirkningen på miljøet. For eksempel: ved produksjon av laminert tre blir noe diesel brukt for intern transport. Denne transporten forårsaker utslipp. I tillegg har produksjonen av diesel i seg selv forårsaket utslipp. Resultatene fra LCA-analyser blir mest presise når hver ressurs blir fulgt tilbake til opprinnelsen. Noen ganger er det vanskelig å se om dette er tatt med når man ser analyser i litteraturen. Andre ganger er det vanskelig å følge en ressurs hele veien tilbake. I praksis er det viktig å definere grensene til systemet slik at alle hovedfaktorer inkluderes. Sammenligning av materialer er ofte lettere, siden grensene kan settes der påvirkninger som ikke tas med, er de samme for produktene man sammenligner (Raymer 2005).

3.2 Hva er SLP?

Bygningsbransjen er under et stadig press for å oppnå bedre kostnadseffektivitet, bedre kvalitet, høyere energieffektivitet, økt miljøytelse og redusert bruk av ikke-fornybare ressurser. I dag velges ofte andre materialer fremfor tre fordi det er knyttet en viss usikkerhet til lang tids holdbarhet og sensitivitet til fuktighet.

Teknisk forskrift (TEK) til Plan- og bygningsloven krever at produkttegnegenskaper som er av betydning for de grunnleggende kravene til byggverk, skal være dokumentert. Levetid er en viktig

produkttegenskap som skal dokumenteres før et produkt omsettes og brukes. Gode levetidsdata er helt avgjørende som grunnlag for verdifastsettelse av bygninger, tilstandsvurdering, forsvarlig vedlikehold og bruk av livssyklus kostnader, livsløpsanalyser og miljødeklarasjoner. I tillegg vil økt levetid på bygningsdeler i tre kunne bidra til økt karbonbinding.

Levetid for bygg eller bygningsdel er definert som "tiden som bygget eller dets deler oppfyller krav til (ønsket) funksjon". Funksjonaliteten beskrives av valgte karakteristiske egenskaper med ytelser som kan måles. For eksempel kan bruddstyrke være et mål på det grunnleggende ytelseskravet om mekanisk styrke. Ytelsens variasjon med tiden, og kravet til ytelsesnivå, bestemmer levetiden (Haagenrud 2004).

ISO 15686 "Buildings and constructed assets - Service life planning" består av en serie av standarder som omhandler systematikk for levetidsplanlegging. I henhold til ISO 15686 defineres holdbarheten til en bygning eller bygningsdel som dens evne til å opprettholde sin funksjon over en bestemt tidsperiode, og hvor den utsettes for påkjenning som forventes i praksis. Dette er en viktig forskjell fra hvordan holdbarhet til trevirke defineres. I henhold til standarden NS-EN 350 (1994) defineres naturlig holdbarhet til trevirke som: "Iboende motstand i tre mot angrep av treødeleggende organismer". Holdbarhet/levetid til et bygg eller en bygningsdel er imidlertid ingen iboende karakteristisk egenskap, men må relateres til funksjonalitet/målt ytelse over tid.

Metoder for å estimere levetid for tre og trebaserte produkter er et forskningsområde som så langt har blitt viet liten oppmerksomhet i Europa. Når det gjelder trevirke, finnes det mye data for de iboende egenskapene (fra laboratorie- og feltforsøk), men det er i dag stor usikkerhet knyttet til å kunne estimere levetid for treprodukter i praktisk bruk basert på disse dataene. En av grunnene til dette er at det til forskjell fra mange andre materialer, er mikroorganismer (særlig råtesopper) som vanligvis gjør størst skade på trevirke i bruk. Dette er levende organismer, og deres aktivitet er avhengig av en rekke faktorer som kan være vanskelig å kvantifisere, samt at betydningen av en del faktorer er lite kjent (Brischke et al. 2006). Det er derfor behov for økt kunnskap for å kunne bidra til bedre dokumentasjon av levetid for bygningsdeler i tre. Dette gjelder særlig for nye produkter hvor erfaring med produktene i praktisk bruk er begrenset. Produkters levetid har stor betydning for resultatene når man utarbeider EPD og LCA.

Gjennom en bedre kunnskap om koblingene mellom god utførelse og holdbarhet, ytelse og levetid til materialer av tre vil man komme nærmere et verktøy som kan hjelpe byggebransjen i deres materialvalg.

3.3 Fra frø til plank

Aldentun (1999b) gir en innføring i prinsippene bak LCA og LCI som bakgrunn for dette arbeidet innen skog og tre i Sverige. Med LCA gis konsumenter og beslutningstagerer et nytt verktøy for å sammenligne miljøeffektene av ulike varer og tjenester. Livsløpsvurderinger kan også være et effektivt hjelpemiddel for et foretak til å se hvilken produksjonsteknikk og hvilke materialer som gir den minste totale miljøbelastningen. Skogprodukter kan f.eks. sammenlignes med konkurrerende materialer som plast, stål og aluminium. Innen skogbruket kan livsløpsstudier brukes til å sammenligne ulike metoder. Eksempelvis; er motormanuell rydding bedre for miljøet enn maskinell rydding? Er virkestransport med tog bedre for miljøet enn lastebiltransport? Adeltun kommer også inn på at noen ganger er begrepet LCA/LCI litt sammenblandet. I en LCI beregner man hvor mye materiale og energi som trengs for å produsere en vare, og hvor mye utslipp produksjonen resulterer i. Alle produksjonsledd og transporten skal regnes med, f. eks. utvinning av olje. I en LCA går man lenger enn i en LCI, og beskriver hvilke typer av påvirkning de ulike utslippene kan resultere i. Man kan også gjøre en vurdering av hva de ulike utslippene betyr. Det råder delte meninger om hvor langt og hvordan resultatene i en LCA skal tolkes.

3.3.1 PLANTESKOLER

- *Oppvarming av veksthus ved produksjon av skogplanter er den enkeltfaktor som gir størst utslipp av CO₂, fulgt av plantedistribusjon (Aldentun 1999a).*

Aldentun (1999a, 2002) gir en LCI for fire planteskoler i Sverige. Resultatet viser at oppvarmingen av veksthusene er den enkeltfaktor som gir størst utslipp av CO₂. Det bør tilstrebes å minske energibruken til oppvarming av veksthus med tekniske forbedringer eller endringer i dyrkingsrutiner. Miljøbelastningen ved å produsere store planter må veies opp mot overlevelse og tilvekst i felt. Plantedistribusjon ga i samtlige planteskoler det nest største utslippet av CO₂. En bedre samordning av planteleveransene er en måte å minske dette utslippet på. Det må jobbes videre med å kartlegge utslipp av gjødsel og insektmiddel, da omfanget av lekkasjer i dag er altfor dårlig kjent. Teknikken med gjødselspredning må også gjennomgås. Utslippet av CO₂ var størst i den sydligste planteskolen grunnet større planter og mer glisne avlinger.

Lindholm og Berg (2001) gir en oversikt over hvordan skogbrukets energi- og ressursbruk påvirker miljøet i et livssyklusperspektiv. Det blir gjort sammenligninger av miljøpåvirkningene i Syd-, Mellom- og Nord-Sverige. Miljøpåvirkningskategoriene ble delt inn i videretransport, hogst, skogforedling og planteproduksjon. Påvirkningen på drivhuseffekt, overgjødsling, forsuring og bakkenært ozon er størst for videretransport og hogst, men skogskjøtsel og planteproduksjon er ikke helt uten betydning. I syd står planteproduksjon for 50-80 % av skogskjøtselens miljøpåvirkning. Det er først og fremst oppvarming av lokaler og veksthus med olje som påvirker miljøet. Planteproduksjon er den eneste av skogbrukets aktiviteter som er knyttet til en fast lokalitet.

3.3.2 SKOGBRUK

- *En svensk studie viste at energiforbruket i skogbruket ligger lavt, basert på at 1 m³ tømmer inneholder 7700 MJ, og at det trengs mindre enn 200 MJ for å fremskaffe dette til industrien (mindre enn 3 %) (Berg og Lindholm 2005).*
- *Siden om lag halvparten av energiforbruket fra skogetablering til industritomt i Sverige er knyttet til tømmertransport vil det være mest å hente ved å effektivisere denne delen av skogproduksjonskjeden (Berg og Lindholm 2000, 2005, Lindholm og Berg 2001).*
- *Skogbruket påvirker også miljøet på andre måter, som biologisk mangfold og kulturhistorie, men for å speile disse må man bruke andre metoder (Lindholm og Berg 2001, Seppala et al. 1998).*

Lindholm og Berg (2001) gir en oversikt over hvordan skogbrukets energi- og ressursbruk påvirker miljøet i et livssyklusperspektiv. Det ble gjort sammenligninger av miljøpåvirkningene i Syd-, Mellom- og Nord-Sverige. Det ble også gjort analyser av hvilke ressurser som går med til utvinning og produksjon av de innsatsvarer som skogbruket anvender i form av drivstoff, elektrisitet, gjødsel og innpakning i planteskoler i de tre geografiske regionene. Ressursene har blitt fulgt tilbake til "vuggen", dvs. til det punktet de ble plukket ut av naturen. Generelt kan man si at man får høyere verdier når man går fra sør mot nord. Miljøpåvirkningene er størst i nord fordi flere hektar må avvirkes for å få samme volum [pga. lavere stående volum i nord]. Påvirkningen er størst fra hogst og transport, men skogskjøtsel og planteproduksjon er ikke uten betydning. Skogskjøtselens innflytelse er størst for bakkenært ozon og drivhuseffekten. Skogbruket påvirker også miljøet på andre måter, som biologisk mangfold og kulturhistorie, men for å speile disse må man bruke andre metoder. Skogbrukets andel av miljøpåvirkningen i en planke er også målt. Ca. halvparten av virket som avvirkes i Sverige leveres til sagbruk. I rapporten vises sagbrukens bidrag til drivhuseffekten og forsuring pr. kubikkmeter saget virke. I dette tilfellet utgjorde det 11 % når det gjelder drivhuseffekt. Det blir da benyttet 75 % fornybart skogsbrensel ved sagbruket, først og fremst i tørkeprosessen. Når det gjelder forsuring, står skogbruket for 34 % av de sagde

treproduktene miljøbelastning. I en sammenligning av elektrisitet fra skogsbrensel og olje viste det seg at bidraget til veksthuseffekten er halvparten så stort fra skogsbrensel. Tar en hensyn til at skogsbrensel er en fornybar ressurs, blir bidraget til veksthuseffekten lite. Elektrisitet fra skogsbrensel bidrar vesentlig mindre til forsurening enn elektrisitet produsert fra olje.

Berg og Lindholm (2000) gir en oversikt over energibruk fra skogetablering til industritomt som et bidrag til å bygge opp en LCI-database for svensk skogbruk. Det er gjort sammenlignende undersøkelser i Syd-, Mellom- og Nord-Sverige. Totalt hadde syd det laveste energiforbruket pr. m³ uten bark. Når de så på energiforbruket pr. hektar for planting, tynning og markberedning, ble bildet annerledes. Arbeidet med ryddesag og tynning tok mer energi i de sørligste delene enn i nord. Det kommer trolig av at det var flere stammer og vanskeligere terreng. Markberedning viste samme tendens, trolig grunnet vanskeligere terreng i sør. Dessuten er bestandene mindre, og det fører til flere forflytninger. For de studerte områdene utgjør videretransporten fra skog til industri det meste av energiforbruket. Forbruket var høyere i nord, ettersom transportavstanden der er lengre. Med moderne hjelpemiddel for transportplanlegging burde energibruken minske betraktelig. Lastfaktoren (Lf) gir et bilde av hva tomme returkjøringer betyr for transportarbeidet. Lf er 50 % når transporten går full én vei og tom i retur. I denne studien bedømmes Lf å være 50 % i Nord- og Mellom-Sverige og 57 % i sør. Hvis Lf kan økes til 70 %, synker energiforbruket for hele skogbruket med 10-14 %.

Berg og Lindholm (2005) beskriver en undersøkelse av energibruk i skogbruksaktiviteter i Sverige i 1996 og 1997 der alle operasjoner som planteproduksjon, skogkultur, hogst og transport til skogindustri er inkludert. Resultatene viste at for å produsere en fastkubikkmeter tømmer under bark trengs 200 MJ i Nord-Sverige, 197 MJ i Midt-Sverige og 147 MJ i Sør-Sverige. Dette inkluderer alle prosesser fra planteproduksjon til tømmer var levert på industritomt. (Data for planteproduksjon ble basert på resultatene til Aldetun 2002). Den dominerende energibæreren var diesel, men bensin og elektrisitet hadde også en viss betydning. Basert på at 1 m³ tømmer inneholder 7700 MJ, og at det trengs mindre enn 200 MJ for å fremskaffe dette til industrien (mindre enn 3 %), mener forfatterne energiforbruket i skogbruket ligger lavt. Undersøkelsen viste høyere energibruk ved tømmertransporten enn tidligere antatt. Av det totale energiforbruket utgjorde tømmertransport (fra velteplass i skogen til industritomt) den største andelen (56 % (113 MJ) i Nord-, 53 % (99 MJ) i Midt- og 53 % (77 MJ) i Sør-Sverige. Energiforbruk i forbindelse med hogst og utkjøring (både tynning og sluttavvirkning) utgjorde om lag 30 % av det totale energiforbruket i Nord- og i Midt-Sverige (66 og 65 MJ) og 40 % i Sør-Sverige (57 MJ). Miljøpåvirkningene er størst i nord som følge av at produktiviteten ved avvirkning reduseres som følge av lavere bestandsvolum. Energiforbruket per m³ for hogst og utkjøring var lavere ved sluttavvirkning enn for tynning. Resultatene viste at skogkultur/skogskjøtsel (flatelydding, markberedning, planting, avstandsregulering og gjødsling) og planteproduksjon (frøproduksjon og plantedyrking) utgjorde den minste andelen av energiforbruket. Energiforbruket i forbindelse med skogkultur/skogskjøtsel utgjorde 8 % i Nord- (16 MJ), 7 % i Midt- (15 MJ) og 2 % (3 MJ) i Sør-Sverige. Energiforbruket til planteproduksjon var henholdsvis 5, 9 og 9 MJ. Utslippet av gasser som fører til klimaendringer er lite i forhold til de nasjonale utslippene. Likevel er det muligheter for reduksjoner i fremtiden, for eksempel ved å bruke biodrivstoff produsert av tømmer. Siden om lag halvparten av energiforbruket er knyttet til tømmertransport vil det være mest å hente ved å effektivisere denne delen av skogproduksjonskjeden.

Lindholm og Berg (2005) har vurdert energibehovet og miljøpåvirkningen ved transport av tømmer fra skogen til industritomt for ulike transportstrategier (tømmerbil og jernbane). Resultatene indikerte at alternativene med jernbanetransport krevde mindre energi enn alternativene basert bare på transport på bilveg. Det ble imidlertid konkludert med at type drivstoff har mer effekt på miljøet en type transportmiddel. Beregninger viste at ved å bruke biodrivstoff på bilen, kan en erstatte 96 % av den fossile energien.

Eriksson et al. (2007) analyserte netto karbonutslipp ved ulike skogskjøtselstrategier og produktbruk, med hensyn til karbonflyt og -lager assosiert med trebiomasse, jord og skogprodukter. Simuleringer ble gjort ved å bruke tre skogforvaltningsregimer for gran (*Picea abies*) (tradisjonelt, intensivt drevet og intensiv gjødsling), tre praksiser med hensyn til hogstavfall (ingen fjerning, fjerning og fjerning med stubber), to skogprodukthanvendelser (konstruksjonsmaterialer og biobrensel) og to referanser av fossilt brennstoff (kull og naturgass). Produktbruk hadde den største effekten på nettokarbonutslipp, mens skogskjøtselregime, referanse fossilt brensel og bruk av hogstavfall som biobrensel var lite signifikant.

Wessman et al. (2003) så på LCA-metodologi og råmaterialaspektet til skogindustrien. Først kommersiell tynning og skogens gjenvekst, deretter hogst, er de mest kritiske operasjonene til produktiviteten av skog. Kvaliteten av arbeidet er startpunktet i modelleringen av indikatorer. I den første tynningen er det essensielt at volumet i bestanden forblir høyt. I Sverige er skogbrukets årlige dieselforbruk 300 000 m³. Forfatterne vurderer det slik at råvarebehovet for å fremstille et eget drivstoff neppe kan være en alvorlig begrensning. Men hvis produksjonen kun skulle skje med jomfruelige treråvarer, kan virkesprisene påvirkes, ettersom virkesbehovet tilsvarer ca. tre millioner m³ fub pr. år.

Löfgren og Berg (2003) så i Resultat fra Skogforsk på syntetisk brensel fra skogsråvarer som alternativ til fossilt brensel i avvikning og transport. Drivstoff basert på skogsråvarer gir vesentlig lavere miljøpåvirkning (CO₂, overgjødsling, forsuring, bakkenært ozon) for de analyserte faktorene enn dieselbasert drivstoff. Dermed så de ikke noe tydelig skille mellom det testede syntetiske EcoPar, etanol og metanol når det gjelder miljøpåvirkning.

Seppala et al. (1998) studerte forvaltningen av skogressurser og relatert industri i Finland for å vurderte miljøeffekten og identifisere behov og muligheter for miljøforbedringer i skogsektoren. Det ble utført en LCA for finsk skogindustri. Dette inkluderte noe metodeutvikling sammenlignet med den tradisjonelle produktrelaterte LCA, fordi dette er en studie av hele produksjonssystemet til den mekaniske og kjemiske skogindustrien i Finland. Områder for forbedring av miljøbeskyttelse i skogsektoren for 2005 ble identifisert på basis av inventeringene (utslipp, avfall etc.), miljøeffektpåvirkning og andre tilgjengelige data. Det ble utviklet nye prosedyrer for å bestemme påvirkningsgraden tilpasset det aktuelle lands spesifikke systemer. Selv om de prioriterte faktorene ikke var sterkt rangert mot hverandre, konkluderes det med at bevaring av biodiversiteten og bedring av energieffektiviteten er nøkkelfaktorene for miljøhensynet i den skoglige sektoren. Før man foretar en mer detaljert rangering, trenger man et bedre datagrunnlag. På tross av begrensningene og behov for videre utvikling ser forfatterne på LCA-tilnærmingen som et viktig verktøy for en dypere forståelse av nøkkelpunkter for miljøbeskyttelse for hele produksjonssystemet.

Nordic Wood (1999) viser at de største utslippene til luft fra produksjonen av trelast i Norge kommer fra fyringsanlegg og intern transport. For utslipp til vann kommer avsig fra tømmerromter og barklager. Den svenske undersøkelsen er mer detaljert i sin utførelse, men viser bl.a. en råvareutnyttelse på 46,8 %, som er tilnærmet lik den norske utnyttelsen.

3.3.3 MODELLERING

I sin doktorgradsavhandling "Modelling and analysing climate gas impacts of forest management" ser (Raymer 2005) på: sparte klimagassutslipp når tre brukes i stedet for mer energiintensive materialer og fossilt brensel, hvilken skogbehandling man skal velge dersom man ønsker å øke netto karbonbinding og hva kostnadene er. Hovedmålet med studien var å se på hvordan skog og skogskjøtsel kan brukes til å redusere atmosfæriske konsentrasjoner av drivhusgasser, spesielt karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og nitrogenoksid (N₂O). For å gjøre dette modellerte de hele karbonsyklusen, inkludert levende trær, døde trær og jord, treprodukter, materialsubstitusjon og energisubstitusjon. Dette ga mulighet til å studere nøkkelfaktorer, fra skogvekst til avfalls-

håndtering av skogindustriprodukter. Hun kombinerte bruk av LCA-analyser med skog-behandlingsmodeller.

Raymer et al. (2005a) beskriver GAYA-J/C modellen som ble utviklet for empiriske skogbehandlingsanalyser. Modellen inneholder informasjon og erfaringer basert på Petersen og Solberg (2002, 2005b). De beskriver hvordan den dynamiske planleggingsmodellen GAYA-JLP ble videreutviklet for å kunne inkludere og analysere faktorer som ble påpekt i Petersen og Solberg (2002, 2005). Den nye versjonen GAYA-J/C omfattet kostnader, inntekter og alle de viktigste aspektene knyttet til opptak og utslipp av klimagasser fra skog og skogprodukter som: levende trær, dødt virke og strø, hogstavfall, jord, sluttbruk av skogprodukter og sparte klimagassutslipp fra bruk av trevirke istedenfor mer energiintensive materialer og fossilt brensel. Skogbehandling ble bestemt endogent i modellen. Modellen ble anvendt på en case-studie av Hedmark fylke for å vise at den var egnet til å kartlegge kostnadseffektivitet av ulike skogbehandling, og til å finne hvilken skogbehandling som er optimal. Modellen var basert på nåværende klima, men klimaendringer kan inkluderes dersom den kombineres med en passende prosessbasert modell.

I Raymer et al. (2005b) brukes GAYA-J/C for å finne optimal skogbehandling og kostnadseffektivitet dersom man ønsker å øke opptak av CO₂ og sparte klimagassutslipp fra bruk av treprodukter i Hedmark fylke. I én analyse var det ingen restriksjoner på avvirkningsnivå, i en annen var det forutsatt at avvirkningen ikke avtar gjennom planleggingsperioden. Tradisjonell nåverdi av skogarealet avtok gradvis ettersom klimagasseffekt ble gitt mer vekt. Tiltak i skog ga en årlig effekt gjennom hele planleggingsperioden sammenlignet med tiltak i andre sektorer, som ofte ga en engangseffekt i et bestemt år. Raymer et al. fant at økning i klimagasseffekten fra skogarealet kan foretas til en lav kostnad. Når klimagasseffekten ble tillagt mer vekt, var det optimalt med lavere hogst og mindre tynning og ungskogpleie. I tillegg var det optimalt å avvirke glisne bestand med lavere skurtømmerandel. En større andel av de avvirkede arealene plantes istedenfor å forynges naturlig. Alt dette fører til høyere stående volum og mer skog. Å inkludere sparte klimagassutslipp fra bruk av trevirke har stor innvirkning på nåverdi av karbonflyt fra skogarealet. Virkning på optimal skogbehandling var mindre reduksjon i hogst, tynning og unskogpleie, i tillegg til enda mer planting. Viktige faktorer for resultatene er rentekrav, sparte klimagassutslipp fra bruk av trevirke og trærnes vekst. Årlig produksjon, avgang av strø og valg av jordmodell hadde mindre betydning.

3.3.4 AREALBRUK OG BIOMANGFOLD

- *Det er vanskelig å beskrive indikatorer for et bærekraftig skogbruk som passer i LCA uten at LCA-metodene utvikles videre (Wessman et al. 2002, 2003).*

Wessman et al. (2002) skriver i sin rapport at det er vanskelig å finne passende sett med indikatorer som beskriver endringer i skogen. Modellering av karbon-, nærings- og energiflyt som inkluderer avvirkning og skogvekst i LCI kan være en løsning for å unngå å bruke spesifikke indikatorer. For biodiversitet foreslås det landskaps-relaterte indikatorer. Observering av avvirkningsopplegg er den viktigste kilden til brukbare data. Det er vanskelig å beskrive indikatorer for sosioøkonomiske verdier for et bærekraftig skogbruk som passer i LCA uten at LCA-metodene utvikles videre.

Wessman et al. (2003) oppsummerer underprosjekt 2-5 i Nordic Industrial Fund – prosjektet "LCA: Mark och Geografi". Arealbruk- og skogbruksaspektene i LCA er kompliserte problemstillinger pga. skogens dynamiske natur. Det er derfor vanskelig å finne passende indikatorer for endringer i skogen pga. dens dynamiske kjennetegn og også mangel på data. En mulig løsning er å modellere karbon-, nærings- og energiflyt som inkluderer skogbruk og skogproduksjon i LCI uten å bruke spesifikke indikatorer. Modeller er under utvikling, spesielt med hensyn til karbon og nitrogen, men det er fortsatt mangel på data som beskriver næringsflyten i skogen. Så langt har

man ikke brukt LCA. Det blir foreslått å bruke landskapsrelaterte indikatorer for biodiversitet. Overvåkingsopplegg for skogbruksaktivitet er den viktigste kilden til brukbare data. Indikatorer som beskriver sosiale og økonomiske verdier for et bærekraftig skogbruk, er vanskelig å tilpasse til LCA-beregninger uten videre utvikling av LCA-metodene. Det er mulig å bruke noen av de skogbruks-spesifikke indikatorene i "Corporate Sustainability Reporting". Data som beskriver disse indikatorene er av god kvalitet, og er enkle å finne i offentlig statistikk for Finland, Sverige og Norge.

3.3.5 TRE SOM ENERGI

Raymer (2006) samlet og analyserte mikronivådata fra tre energiprodusenter i Hedmark fylke. Målet med studien var å finne hvor mye drivhusgassutslipp energi fra ulike typer tre forårsaket (ikke bare CO₂, men også CH₄ og N₂O), hvilken energi de substituerte, deres potensial i å redusere drivhusgassutslipp, og hovedkilden til usikkerhet. LCA. Energi fra seks trerelaterte materialer ble studert: ved, sagflis, pellets, briketter, rivingsvirke og bark. Drivhusgassutslipp gjennom livssyklus for denne type studier er 2-19 % av utslippene fra sammenlignbare energikilder. De laveste tallene er for rivingsvirke som substitusjon for olje i store forbrenningsanlegg, de høyeste for ved brukt i boliger som erstatning for elektrisitet produsert fra kull. Tre som energikilde ga en besparelse i drivhusgassutslipp på 0,210 til 0,640 tonn CO₂-ekvivalenter pr. m³ tre. Relatert til GWh-energi produsert var besparelse av drivhusgassutslipp fra 250 til 360 tonn CO₂ ekvivalenter. Den viktigste faktoren var type teknologi brukt til forbrenning, hvilken energi som ble substituert, tetthet og varmeverdier. Inndata med hensyn til høsting, transport og produksjon av treenergi var ikke viktig. Alt i alt, usikkerhetene tatt i betraktning, er det ikke store forskjeller i besparelse av klimagasser for de ulike treenergiformene.

3.3.6 COST ACTION E9

COST (European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research) Action E9 (1997 to 2001) var et tverrfaglig forum for utveksling av informasjon på "Life cycle assessment (LCA) of forestry and forest products": harmonisering og forbedring av metoder, innsamling og utveksling av data og sammenligning av tre med andre materialer. Målet med COST Action E9 var å etablere et europeisk forum for LCA for skog og skogprodukter. 19 europeiske land var involvert i COST Action E9, som igjen var delt inn i 4 arbeidsgrupper (WG): (1) Produksjon: energi-, karbon-, og andre materialsykluser; (2) Arealbruk; (3) Slutten på livssyklus: resirkulering, deponering og energiproduksjon og (4) Metodologi.

I (Anonymous 1997-2001) beskrives bakgrunnen til COST Action E9. Hovedformålet med COST Action E9 var å utvide multidisiplinære livssyklusanalyser til å dekke hele skogbruket og skogbrukets produktkjede fordi:

- Metodeutvikling og sammenligning er nødvendig pga. behovet for en integrert og balansert tilnærming innen skog- og skogproduktsektoren
- LCA vil studere implikasjonene ved bruk av tre sammenlignet med andre produkter
- LCA vil bidra til forbedring av prosesser og produkter

Hovedgrunnene til å utføre LCA for skog og skogprodukter er:

- Å fremskaffe kvantifiserbar og pålitelig informasjon til den følelsesladde debatten om miljøpåvirkningen og -fordelene for treprodukter slik at denne informasjonen kan bli brukt av industrien og beslutningstakere
- Å forbedre produksjons- og gjenbruksteknikkene ved å minimalisere steg med høy miljøpåvirkningsgrad eller å belyse kompatibilitet mellom prosesser

- Å belyse områder hvor informasjon om miljøpåvirkningen til produkter fortsatt er ukjent eller usikker
- Å gi mulighet til å sammenligne ulike materialer (forutsatt at produktene blir brukt til det samme formålet, f.eks. jernbaneskiner av tre, betong eller stål).

Håndtering av allokeringer i beskrivelsen av LCA av trebaserte produkter har blitt diskutert lenge, og ulike løsninger har blitt presentert. Generelt er det akseptert at påvirkning av ulike allokeringsprosedyrer på resultatet av LCA av trebaserte produkter kan være signifikant. Jungmeier et al. 2002a, b oppsummerer erfaringer fra Cost Action E9. Tre er et fornybart materiale som kan brukes til treprodukter og energiproduksjon. Konsistente metodeprosedyrer er nødvendig for å ta hensyn til denne todelingen av tre som materiale og energikilde på en korrekt måte. Den multifunksjonelle treprosessen genererer store mengder biprodukter og gjenbruk eller resirkulering av papir og tre. Ti ulike prosesser i LCA av trebaserte produkter er identifisert hvor allokeringssspørsmål kan dukke opp: skogbruk, sagbruk, treindustri, masse- og papirindustri, sponplateindustri, resirkulering av papir, resirkulering av trebaserte plater, resirkulering av treavfall, kombinert varme- og energiproduksjon, og avfallsdeponering. Jungmeier et al. presenterer i artikkelen åtte konklusjoner for allokering i LCA av trebaserte produkter. Jungmeier et al. (2003) gir råd for håndtering av energi i LCA av skogprodukter. Denne artikkelen er et resultat av arbeidsgruppe 3. Målet var å få en oversikt over energi i LCA av skogprodukter. De viktigste aspektene ble identifisert: 1) energi og karbonbalanse, 2) energigenerering, 3) energisubstitusjon og 4) sammenligning med andre alternativer for avfallshåndtering. Ved siden av god håndtering av aspektene nevnt over, er følgende konklusjoner for LCA-arbeid gitt:

- Vær oppmerksom på tap av potensiell energi i karbonflyt.
- Sammenlignet med varmeverdiene av biomasse er det ekstra energibehovet lavt (< 10 %)
- Substitusjonsraten (bioenergi for fossilt brensel) kan være lavere enn 100 %, avhengig av teknisk system tilgjengelig.
- En høy substitusjonsrate kan være et optimaliseringskriterium for LCA.
- En sensitivitetsanalyse av ulike substitusjonskriterier bør lages.
- Sammenlign energigenerering med andre avfallshåndteringsalternativer.
- Bruk av bioenergi kan være CO₂-nøytral, men ikke CO₂-fri.
- Den viktigste fordelene med bioenergi er drivhusgassreduksjon ved substitusjon av fossil energi.

3.3.7 LITTERATURSTUDIE

Raymer et al. (2005)

Raymer et al. (2005) gir en litteraturgjennomgang av skogbehandlingens virkning på opptak og utslipp av klimagasser, med vekt på modellene som er brukt i analysene. Modellene i litteraturgjennomgangen er utviklet for å brukes på enten bestandsnivå eller områdenivå, og de er enten simulerings- eller optimaliseringsmodeller. Gjennomgangen viste at en svakhet med mange eksisterende modeller er at kostnader og inntekter fra skogproduksjon ikke er inkludert. Studien til Raymer et al. avdekket også et behov for å finne kostnadseffektiviteten og marginale kostnader ved endringer i skogbehandling eller arealbruk, i tillegg til å finne hvilken skogbehandling som er optimal med ulike formål for skogarealet. Dette kan ifølge Raymer et al. bare gjøres med optimaliseringsmodeller. Andre viktige faktorer som de mener bør tas med i slike analyser er følsomhetsanalyser og sparte klimagassutslipp når trevirke brukes istedenfor mer energiintensive materialer eller fossile brensler. Så mange som mulig av de delene av karbonsyklusen som betyr noe, oppfordres til å tas med.

Petersen et al. presenterer i tabellform:

- En oversikt over bestands nivå modeller brukt for karbonflyt i skog.
- En oversikt over endret karbon lagring etter en rotasjon på bestandsnivå.
- En oversikt over simuleringsmodeller på regionalt nivå for karbon flyt i skog.
- En oversikt over optimaliserings modeller for karbon flyt på regionalt nivå i skog.

Tabellene er gjengitt i Appendiks 2.

Følgende rapporter bør nevnes selv om de ikke behandles i denne rapporten:

Hoen et al. (2007): Klimagasser og bioenergi fra landbruket - kunnskapsstatus og forskningsbehov.

SFT (2007): Reduksjon av klimagasser i Norge. En tiltaksanalyse for 2020.

Sverdrup-Tygeson, A og Framstad, E (2007): Bioenergitiltak og effekter på biomangfold.

Langerud et al. (2007): Bioenergi i Norge – potensialer, markeder og virkemidler.

3.4 Sammenligning av ulike materialer

Først og fremst må LCA-resultater ses i relasjon til LCA-studiens formål. Ettersom ulike spørsmålsstillinger leder til ulike valg av metode, kan svarene/resultatene bli ulike for noe som synes som relativt like studier. LCA-studier er dermed ikke direkte sammenlignbare, man må se hvordan mål og avgjørende metodevalg skiller seg mellom studiene (Brunklaus og Baumann 2002). Avgjørende metodevalg er funksjonell enhet, prinsipper for å trekke systemgrenser, type data som brukes i studien og miljøbedømmelsesmetodikk (Brunklaus og Baumann 2002). Som tidligere nevnt foregår det nå et arbeid på standardisering innen dette området, og det er derfor gode muligheter for at nye studier nå vil være mer enhetlige og lettere å sammenligne.

I det følgende er det gjort generelle sammenligninger og betraktninger. Disse må kun betraktes som grove generaliseringer. For mer utfyllende informasjon er derfor alle refererte studier beskrevet i noe mer detalj i appendiks. Heller ikke denne oppsummeringen har, grunnet plasshensyn og lesbarhet, tatt med alle avgrensinger og forutsetninger. For alle detaljer henviser vi til originalarbeidene.

I det følgende er det gjort sammenstillinger av tilgjengelig litteratur med vekt på bruk av trevirke i LCA, men også andre sammenlignende miljøstudier er inkludert. I teksten under refereres kun til tekst i de nevnte artikler. Der det var nødvendig å kommentere, står dette i parentes [].

3.4.1 TRE VS. ANDRE MATERIALER

- *I 60 % av studiene (12 studier) der tre ble sammenlignet med andre materialer, var tre det beste miljøalternativet, i 35 % av studiene (7 studier) var det ingen eller liten forskjell og i 5 % (1 studie) var alternative materialer best.*

I Tabell 1 er studier som sammenligner tre med andre materialer sammenstilt. Bakgrunnen for sammenligningene, og materialer eller konstruksjoner som sammenlignes, varierer. Det materialet som ble funnet best i hver studie er uthevet, samtidig som det i begrunnelsen kommer frem hva som ligger bak konklusjonen.

Tabell 1. Sammenstilling av studier som sammenligner tre med andre materialer. Tabellen viser forfatter(e), type konstruksjon og materialer som sammenlignes i studien, og begrunnelse hentet fra studiene. Materialet som kom best ut i studien, er uthevet. Der det ikke er noen utheving, skyldes dette at argumentene ikke ga grunnlag for noen prioritering.

Forfatter	Type konstruksjon Materialer	Begrunnelse
Adalberth (2000a)	<i>Bærekonstruksjon</i> Tre, betong	Forskjell i energibruk er liten eller ubetydelig
Björklund og Tillman (1997)	<i>Fleretasjes bolighus</i> Tre, betong	Ingen store miljømessige forskjeller på de ulike bærekonstruksjonene over livsløpet, forutsatt at rivingsmaterialet blir gjenvunnet som lavverdig materiale i rivingsfasen. Ved å se på produksjonsfasen for bolighus ble bærekonstruksjonene av tre generelt gradert noe lavere enn betong.
Borjesson og Gustavsson (2000)	<i>4 etasjes boligblokk</i> Tre , betong	Betongbærekonstruksjoner trenger 60-80 % mer energi i produksjonen av bygningsmaterialer enn tre. Netto drivhusgassbalanse for trematerialer vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving av bygningen. Netto drivhusgassbalanse vil være litt positiv hvis alt rivingsvirke av tre brukes til å erstatte fossilt brensel, litt negativ hvis deler av rivingsmaterialet gjenbrukes, og klart positiv hvis alt trevirke deponeres på avfalls plass, grunnet produksjon av CH ₄ . Men hvis biogass samles opp og brukes til å erstatte fossilt brensel, vil netto drivhusgassutslipp være ubetydelige. Hvis betongbærekonstruksjoner brukes, vil drivhusgassutslipp være omtrent likt som når tre deponeres på fyllplass og ingen deponigass samles opp. Beregningene forutsetter at CO ₂ avgitt fra kjemiske prosesser i produksjonen av sement vil binde seg igjen til betong ved en karboniseringsprosess. Hvis dette ikke skjer, vil netto drivhusgassutslipp ved bruk av sement bli dobbelt så høyt.
Dokka (2003)	<i>Kontorrom</i> Tre, betong	Den lette kontormodulen (trekomponenter) viste et høyere årlig oppvarmings- og kjølebehov enn den tunge kontormodulen (betong).
Engberg og Eriksson (1998)	<i>Jernbanesviller</i> Kreosotimpregnert tre, betong.	Begge scenarioene for tresvillene er bedre enn for betongalternativet med hensyn til utnyttelse av ikke-fornybare ressurser, forsuring, utslipp til luft med toksisk virkning på mennesker og produksjon av avfall. Med hensyn til global oppvarming og fotooksidantdannelse var tre det beste alternativet hvis svillene ble brent. Hvis de deponeres, er det et klart verre alternativ enn betongsviller på grunn av metanutslipp. Tresviller som brennes etter bruk, har lavere effekt på eutrofiering enn betongsviller som resirkuleres. Tresviller er med hensyn til dette også bedre hvis både tresvillene og betongsvillene deponeres på fyllplass etter bruk. Grunnet lekkasje av kreosot gjennom bruksfasen har tresvillene høy effekt på menneskelig toksikologi og til akvatisk økotoksikologi. [Alternativet med CCA og kreosot er ikke lenger like relevant, se kap. 4]
Engelbertsson (1997)	<i>Takbjelker</i> Limtre , stål	Stålbjelker har 2-8 ganger høyere miljøpåvirkning enn limtrebjelker.

Erlandsson (1991)	<i>Stolper og kraftlinjer</i> Aluminium, betong, stål, kreosotimp. tre, CCA-imp. tre	I produksjonsfasen er det mellom 12-99 % reduksjon i utslipp og energiforbruk grunnet substitusjon mellom stolper i tre og stolper i andre materialer. Et unntak er utslipp til bakken. CCA og kreosot avgir toksiske substanser til jorden gjennom livsløpet. Både stål og aluminium forårsaker opptil 100 % mindre utslipp og henholdsvis 65 % og 94 % lavere energiforbruk når de lages fra skrap enn fra malm. I tillegg har trestolper kortere levetid enn stolper i stål, betong og aluminium. [Alternativet med CCA og kreosot er ikke lenger like relevant, se kap. 4]
Fossdal (1995)	<i>Eneboliger</i> Tre , lette betongvegger	En sammenligning av byggene innenfor kategoriene forbruk av ressurser, global klimaendring, forsuring, fotokjemisk oksidasjon og overgjødning viser alle den samme trenden: Det er lettklinker som bidrar mest innenfor alle kategoriene, og forskjellen mellom denne boligen og treboligene er signifikante. Produksjonen av alle materialene i trehusene krever 41 og 46 % mindre energi enn produksjon av hus med lette betongvegger pr. m ² . Fra tre var utslipp av CO ₂ 56 og 51 % mindre, SO ₂ 69 og 65 % mindre, NO _x 34 og 38 % mindre, og støv 40 og 46 % mindre.
Gustafsson et al. (2006)	<i>Bærekonstruksjoner</i> Tre , betong	Bærekonstruksjoner i tre krever mindre energi og avgir mindre CO ₂ til atmosfæren enn bærekonstruksjoner i betong. Livssyklusutslippene mellom bærekonstruksjoner i tre og betong varierte fra 30 til 130 kg C pr. m ² gulvareal. Derfor kan man oppnå en netto reduksjon av CO ₂ -utslipp ved å øke proporsjonene av trebaserte bygningsmaterialer i forhold til betongmaterialer. Forskjellen mellom tre og betong i bærekonstruksjoner vil være størst hvis biomasseavfall fra produksjon av trematerialer ble utnyttet fullt ut i energiforsyningsystemer. Karbonmigreringseffektiviteten, uttrykt som biomasse brukt pr. enhet av reduserte karbonutslipp, er vesentlig bedre hvis tre blir brukt for å erstatte betong som bygningsmaterialer enn hvis tre utnyttes direkte som biobrensel.
Gustavsson og Sathre (2006)	<i>Bolighus</i> Tre , betong	De fant at materialer i bygningen med bærekonstruksjoner i tre hadde lavere energi- og CO ₂ -balanse enn de med bærekonstruksjoner i betong i alle unntatt ett tilfelle. De konkluderer med at bruken av bygningsmaterialer i tre i stedet for betong, koblet med større integrering av biprodukter av tre i energisystemer, vil være en effektiv måte å redusere bruk av fossilt brensel og netto CO ₂ utslipp til atmosfæren.
Hassan (2004)	<i>Yttervegg</i> Tre , mur, betong	Veggstrukturer laget av tre er det mest compatible valget med hensyn til eksterne og interne miljøkrav for bygningsstrukturer.
Jarnehammar (1998)	<i>Yttervegger og bjelkelag</i> Mur, betong, trad. trepanel, Kauna panel (drivhuseffekt) Mørtel, betong, tradi. trepanel, Kauna panel (bakkenært ozon)	Både for yttervegger og bjelkelag gir produkter som er trebasert et lavere bidrag til drivhuseffekten enn sammenlignbar konstruksjon i betong og mørtel. Årsaken er at fornybare råvarer brukes til energifremstilling ved produksjonssted. Mer treintensive produkter gir et høyere bidrag til dannelsen av bakkenært ozon.
Jönsson et al. (1995, 1997)	<i>Gulv</i> Linoleum, vinyl,	I evalueringen med tre ulike metoder gir furugulv best resultater. Produksjon av furugulv konsumerte 49-54 % mindre elektrisitet

	ubehandlet heltre	<p>og 78-80 % mindre fossilt brensel enn produksjon av vinyl og linoleum.</p> <p>Furugulv har lavest utslipp av , SO₂ og VOC pr. år.</p> <p>Furugulv avgir 31,6 g NO_x-gasser i levetiden, mens linoleum og vinyl avgir henholdsvis 12,8 og 8,36 g. Selv om man tar det lengre livsløpet til furugulv med i betraktningen, forårsaker det høyere utslipp av NO_x-gasser pr. år enn de andre materialene. De høyere utslippene fra furugulv er hovedsakelig på grunn av forbrenningsforholdene for biobrensel som brukes til tørking ved sagbruk.</p> <p>Furugulv er bedre enn vinylgulv på utslipp av støv, men verre enn linoleum. I tillegg forårsaker vinylgulv utslipp av klororganiske substanser til luft og vann.</p> <p>Både i kartleggingen og effektanalysen av miljøpåvirkningen var heltregulv klart det beste alternativet i studien.</p>
Kristensen (1999)	<i>Lagerbygg</i> Limtre, stål, betong	<p>Limtrebærekonstruksjoner forårsaket 58 % mindre utslipp av CO₂-ekvivalenter enn bruk av stål og 64 % mindre utslipp enn bruk av betong.</p> <p>Sammenlignet med betong var limtre bedre på forsuring og eutrofiering, men verre på fotokjemisk oksidantdannelse.</p> <p>Sammenlignet med stål var limtrebærekonstruksjoner bedre på fotokjemisk oksidantdannelse, lik for forsuring og verre på eutrofiering.</p> <p>Limtrekonstruksjonen var svært ufordelaktig ved en klassifikasjonsfaktor for menneskelig toksisk effekt og for økotoksisk effekt.</p>
Mørkved og Opdal (1990)	<i>Bærekonstruksjoner, tak og veggkonstruksjoner</i> Tre , stål, betong	<p>Trekonstruksjonen viste 44-85 % mindre energiforbruk enn lignende konstruksjoner i stål og 70-87 % mindre enn lignende konstruksjoner i betong.</p>
Norén og Jarnehammar (2001)	<i>Bjelkelag, vegger, hus</i> Tre, betong, stål	<p>Trekonstruksjoner generelt gir et lavere bidrag til drivhus-effekten enn sammenlignbare konstruksjoner i betong og stål.</p> <p>Energibruken for fremstilling er om lag den samme for de ulike konstruksjonene, men for trekonstruksjoner er andelen fornybar energi større.</p> <p>Trekonstruksjoner i sin alminnelighet krever ca.samme energimengde ved fremstilling som konstruksjoner laget i betong. Men trekonstruksjoner har større andel fornybar energi som er mulig å gjenvinne ved riving. For trekonstruksjoner er den energien som kan utvinnes, minst like stor som den energien som trengs til produksjon.</p> <p>Forsuring: Forskjellen mellom tre- og betongkonstruksjonene er liten.</p> <p>Overgjødsling: Med unntak av trebjelkelag gir trekonstruksjoner et noe lavere bidrag enn tilsvarende i stål og betong.</p> <p>Bakkenært ozon: Trekonstruksjonene gir gjennomgående et større bidrag til bakkenært ozon enn tilsvarende konstruksjoner i stål og betong.</p>
Petersen og Solberg (2002a, 2003, 2004)	Gulv Heltre eik vs naturstein og vs linoleum, vinyl, teppe i ull, teppe i polyamid.	<p>Fremstilling av tregulv krever 1,6 ganger mer energi og produserer 1/3 av drivhusgassutslipp sammenlignet med steingulv.</p> <p>Pr. m³ av tregulv kan utslipp opp mot 1,263 tonn CO₂-ekvivalenter spares inn ved å velge tregulv fremfor steingulv.</p> <p>Avfallshåndteringen kan være både fordelaktig og ufordelaktig</p>

		<p>for gulvkonstruksjoner i tre. I beregning av sparte klimagassutslipp er derfor forutsetningene om avfallshåndtering viktige. Andre forutsetninger som er viktige for resultatene, er om karbonbindingen på det frigitte skogarealet regnes med, og hvilket rentekrav som legges til grunn.</p> <p>I sammenligningen mellom heltre og ulike gulvbelegg er det klart at prisen pr. spart tonn CO₂-ekvivalenter er meget høy for substitusjon mellom heltre og linoleum eller vinyl.</p> <p>Materialene kan bli rangert i følgende rekkefølge etter deres potensial for reduksjon av drivhusgasser: teppe i ull, teppe i polyamid, vinyl og linoleum.</p> <p>Ved 2 % pro anno diskonteringsrate er innsparte drivhusgassutslipp i tonn pr. brukte m³ eik 0,1-1,9 vs. linoleum og 11,8-15,5 vs. teppe i ull.</p> <p>De forutsetningene som påvirker resultatet mest, er valgene av diskonteringsrate, karbonfiksering på skogarealer og avfallshåndtering.</p> <p>Empiriske casestudier som dette indikerer en potensiell reduksjon i drivhusgassutslipp ved substitusjon, men bør følges av dynamisk input/output-analyser og økonomiske studier.</p> <p>For å analysere flyten av CO₂ over tid bør studiene kobles til skogskjøtselsmodeller.</p>
Petersen og Solberg (2002b, c)	<p><i>Takbjelker</i></p> <p>Limtre, stål</p>	<p>Bjelker i stål krever mer energi og forårsaker større klimagassutslipp enn limtrebjelker.</p> <p>Tidsaspektet, avfallshåndtering, karbonbinding på frigit skogareal, malmbasert eller skrapjernbasert stålproduksjon og energikilde i stålproduksjonen er de av forutsetningene som betydde mest for resultatene.</p>
Sathre og Gustavsson (2007)	<p>Bygningsmaterialer og to like hus med tre og betong</p> <p>Tre, betong</p>	<p>Produksjon av bygningsmaterialer i tre krever mindre energi enn produksjon av andre bygningsmaterialer som stål og betong.</p> <p>Energibalansen for treprodukter er typisk negativ, det vil si at mer utnyttbar energi er produsert i form av biobrenselbiprodukter enn det som trengs for produksjon av materialer.</p> <p>I en sammenligning av to tilsvarende bygninger med tre- og forsterket betongbærekonstruksjoner, var energikostnaden for materialproduksjon henholdsvis 1,3 og 1,7 % av den totale konstruksjonskostnaden ved 2004-energipriser og industriavgiftsnivå.</p> <p>Høyere avgifter på karbonutslipp og fossilt brenselbruk viser seg å øke den økonomiske konkurranseevnen til trekonstruksjoner. Dette skyldes både lavere energikostnader for produksjon av trematerialer og den økte økonomiske verdien av biomassebiprodukter brukt for å erstatte fossilt brensel.</p> <p>Den totale energien og avgiftskostnaden er høyere for betong enn tre i alle energiavgiftsregimene.</p>
Thormark (2006)	<p>Boliger</p> <p>Tre, stål</p>	<p>Ved å gjøre annet materialvalg kan den bundne energien reduseres med omtrent 17 % eller øke med 6 %. Det er i minimumsversjonen av substitusjon bl.a. brukt tre i stedet for stål i konstruksjonen og cellulose i isolasjonen.</p>

I (NOU 2006:18) *Et klimavennlig Norge* står det skrevet i boks 6.7 Tre eller sement i bygningssektoren – hva skal man velge?: "Økt trebruk vil kunne gi reduserte klimagassutslipp dersom dette

erstatte andre og mer belastende materialer i bygningssektoren. Den klimamessige gevinsten ved for eksempel overgang fra betong til massivt tre kan grovt anslås til 0,4 t CO₂-ekv. pr. tonn økt treforbruk. Tilsvarende tendenser gjelder for overgang fra lette stålkonstruksjoner til massivt tre og for overgang fra lette bindingsverkskonstruksjoner i tre til massivt tre, selv om utbyttet her blir noe lavere (henholdsvis 0,3 og 0,25 t CO₂-ekv. pr. tonn økt treforbruk).” Opplysningene er hentet fra Berge og Stoknes (2004). [Dette har i ettertid vært noe omdiskutert.]

3.4.2 LIVSSYKLUSFASER I BYGG

For å gjøre bygninger bedre med hensyn til miljøegenskaper er det viktig å vite hvilke faser og hvilke ledd innen de ulike fasene som utgjør den største påvirkningen. I dette avsnittet er studier fra tre livssyklusfaser: produksjon, bruksfase og avfallshåndtering/resirkulering sammenstilt. Hver av disse er delt inn i resultater på energibruk og resultater på miljøbelastning.

3.4.2.1 Produksjon

- *Produksjonsfasen gir høyere miljøpåvirkning enn rivingsfasen. Den største påvirkningen gjennom produksjonsfasen ble oppnådd ved produksjon av råmaterialer (Björklund og Tillman 1997)*
- *Produksjon av materialer av tre gir et lavere bidrag til drivhuseffekten enn produksjon av sammenlignbare byggmaterialer (Norén og Jarnehammar 2001, Petersen og Solberg 2002c, 2003).*

Energibruk

Energibruken i produksjonsfasen viste seg i Björklund og Tillman (1997) å gi lavere miljøpåvirkning enn i bruksfasen, men høyere enn i rivingsfasen. Den største påvirkningen gjennom produksjonsfasen ble oppnådd ved produksjon av råmaterialer. Börjesson og Gustavsson (2000) fant at bærekonstruksjoner i betong trenger 60-80 % mer energi i produksjon av bygningsmaterialer enn tre. Sathre og Gustavsson (2007) studerte bygningsmaterialer i to like hus med henholdsvis tre og betong. Produksjon av bygningsmaterialer i tre krever mindre energi enn produksjon av andre bygningsmaterialer som stål og betong. Energibalansen for treprodukter er typisk negativ, det vil si at mer utnyttbar energi er produsert i form av biobrenselbiprodukter enn det som trengs for produksjon av materialer. I en sammenligning av to tilsvarende bygninger med tre- og forsterket betongbærekonstruksjon, var energikostnaden for materialproduksjon henholdsvis 1,3 og 1,7 % av den totale konstruksjonskostnaden, ved 2004-energi priser og industriavgiftsnivå. Norén og Jarnehammar (2001) studerte bjelkelag, vegger og hus. Energibruken for fremstilling av sammenlignbare konstruksjoner i tre, betong og stål er om lag den samme for de ulike konstruksjonene, men for trekonstruksjoner er andelen fornybar energi større. For trekonstruksjoner er den energien som går til gjenvinning når huset rives minst like stor som den energien som trengs til fremstilling. Produksjon av furugulv konsumerte ifølge Jönsson et al. (1995) 49-54 % mindre elektrisitet og 78-80 % mindre fossilt brensel enn produksjon av vinyl og linoleum. Petersen og Solberg (2003) studerte gulv i heltre eik og naturstein, og fant at fremstilling av tregulvet krevde 1,6 ganger mer energi sammenlignet med steingulvet. Fundamentet i eneboliger sto for hoveddelen av energien gjennom produksjonen, 34-47 % (Thormark 2000).

Drivhusgasser

Norén og Jarnehammar (2001) fant i sin studie av bjelkelag, vegger og hus at trekonstruksjoner generelt ga et lavere bidrag til drivhuseffekten enn sammenlignbare konstruksjoner i betong og stål. Petersen og Solberg (2003) studerte gulv i heltre eik og naturstein, og fremstilling av tregulv produserer 1/3 av drivhusgassutslippet sammenlignet med steingulv. Petersen og Solberg

(2002c) fant at produksjon av limtrebjelker forårsaker 1/5 av drivhusgassutslippene sammenlignet med produksjon av stålbjelker.

Miljøpåvirkning

Junnila (2004) fant at produksjon av bygningsmaterialer (til konstruksjon og vedlikehold) dominerte effektene på sommersmog og tungmetaller. Erlandsson (1991) sammenlignet aluminium, betong, stål, kreosotimpregnert tre og CCA-impregnert tre i stolper og kraftlinjer i et livssyklusperspektiv. I produksjonsfasen er det mellom 12-99 % reduksjon i utslipp og energiforbruk grunnet substitusjon mellom stolper i tre og stolper i andre materialer (aluminium, betong, stål). Et unntak er utslipp til bakken, der CCA og kreosot avgir toksiske substanser til jorden gjennom livsløpet. [Alternativet med CCA og kreosot er ikke lenger like relevant, se kap. 4]

3.4.2.2 Bruksfase

- *I livssyklusfasene til boliger og kontorbygg er det bruksfasen som utgjør det største energiforbruket, ca. 85-93% (Adalberth 2000, Fossdal 1995, Björklund og Tillman 1997) og den største miljøpåvirkningen, 70-90 % (Adalberth 2000), 45-75 % (Junnila 2004).*

Energibruk

Adalberth (2000a) fant at ca. 85 % av total energibruk kommer i bolighusets beboelsesfase. Energi brukt til å produsere alle konstruksjonsmaterialer, inkludert materialer til renovering, er estimert til ca. 15 % av det totale energiforbruket. Fossdal (1995) så på energiforbruk i bolig og kontorbygg, og fant at energiforbruket i driftsfasen utgjør 90-91 % av det totale energiforbruket for kontorbyggene og 92-93 % for eneboligene i tre, mens for en lettklinkerbolig utgjør driftsfasen 88 % av det totale energiforbruket. Utslippene kommer derimot i det vesentligste fra produksjon av byggematerialer. Björklund og Tillman (1997) fant samme trend, bruksfasen har størst påvirkning på energibruken i livsløpet til bolighus.

Miljøpåvirkning

Adalberth (2000a) fant at 70 -90 % av miljøbelastningen kommer i bolighusets beboelsesfase. Hun fant videre at alle byggematerialene utgjør 10–20 % av den totale miljøbelastningen i livsløpet. Junnila (2004) fant at bruksfasen forårsaket 45-75 % av den gjennomsnittlige livssykluseffekten av bygningene i studien.

3.4.2.3 Avfallshåndtering og resirkulering

- *Netto drivhusgassbalanse, og energi som går til gjenvinning, for trematerialer vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving av bygningen. Det er ikke nok å konkludere med at et materiale er gjenbrukbart, men også formen for gjenvinning og hvordan det blir klargjort for demontering må oppgis (Borjesson og Gustavsson 2000, Petersen og Solberg 2002a, c, Thormark 2000, 2002, 2006). [Dette avhenger også av hvor man setter systemgrensene. I ny standard for miljødeklarasjoner tilfaller energiutnyttelsen neste system, dvs. de som nyttiggjør seg bioenergien]*
- *Det kan være viktigere å prosjektere en bygning for resirkulering enn å bruke materialer som krever lite energi å produsere (Thormark 2000, 2002, 2006).*

Energibruk

Norén og Jarnehammar (2001) studerte bjelkelag, vegger og hele hus. For trekonstruksjoner er den energien som går til gjenvinning når huset rives, minst like stor som den energien som trengs til fremstilling. I Petersen og Solberg (2002c) sin studie av takkonstruksjoner i tre og stål fant de at avfallshåndtering av begge materialer kan enten gi eller forbruke energi. Derfor avhenger

forskjellen i energiforbruk gjennom livssyklus mellom stål- og limtrebjelker av hvordan materialene blir håndtert etter riving.

Thormark (2000, 2002, 2006) har gjort flere studier med fokus på resirkulering og gjenbruk av bygningsmaterialer. Resultatene viste blant annet at det kan være viktigere å prosjektere en bygning for resirkulering enn å bruke materialer som krever lite energi å produsere. Ved å tilpasse konstruksjonen for resirkulering kan minst 50 % av energi brukt til produksjon spares ved resirkulering. Dette er spesielt viktig når energiintensive materialer brukes. Ved et livsløp på 50 år utgjør bundet energi 45 % av den totale energien i lavenergibygg. Resirkuleringspotensialet var mellom 35 og 40 % av den bundne energien. Ved å gjøre annet materialvalg kan den bundne energien reduseres med omtrent 17 %, eller den kan øke med 6 %. (Det er i minimumsversjonen av substitusjon bl.a. brukt tre i stedet for stål i konstruksjonen og cellulose i isolasjonen.) Det er ikke nok å konkludere med at et materiale er gjenbrukbart, men også formen for gjenvinning og hvordan det blir klargjort for demontering må oppgis. For å fremme reduksjonen i bundet energi og øke potensialet for gjenbruk, må det legges vekt på å utvikle nye konstruksjoner når det gjelder materialer og utformingen av sammenføyninger.

Drivhusgasser

Netto drivhusgassbalanse for trematerialer vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving av bygningen (Borjesson og Gustavsson 2000) [Dette avhenger av hvor man setter systemgrensene. I ny standard for miljødeklarasjoner tilfaller energiutnyttelsen neste system, dvs. de som nyttiggjør seg bioenergien]. Hvis betongbærekonstruksjoner brukes, vil drivhusgassutslipp være omtrent likt som når tre deponeres på fyllplass og ingen deponigass samles opp. Beregningene forutsetter at CO₂ avgitt i produksjonen av sement vil binde seg igjen. Hvis dette ikke skjer, vil netto drivhusgassutslipp ved bruk av sement bli dobbelt så høy. Gustavsson og Sathre (2006) fant at gjenvinning av rivings- og trematerialrester for bruk i stedet for fossilt brensel bidro mest signifikant til lavere energi- og CO₂-balanse for bærekonstruksjonsmaterialer i tre. De konkluderer med at bruken av bygningsmaterialer i tre i stedet for betong, koblet med større integrering av biprodukter av tre i energisystemer, vil være en effektiv måte å redusere bruk av fossilt brensel og netto CO₂-utslipp til atmosfæren. Petersen og Solberg (2002c) fant i sin studie av takkonstruksjoner at avfallshåndtering av limtre kan redusere drivhusgassutslipp hvis limtre brennes og energien brukes til å erstatte fossil energi. Hvis limtre sendes til fyllplass, forårsaker det drivhusgassutslipp grunnet CH₄-dannelse fra anaerob nedbrytning. Dette siste alternativet skjer sannsynligvis ikke hvis effekten av drivhusgasser viser seg å være drastiske. Det mest sannsynlige estimatet på netto drivhusgassutslipp er 45-57 kg CO₂-ekvivalenter pr. m² tak. Karbonfiksering på regenererte skogarealer, avfallshåndtering av materialer, malmbasert eller skrapbasert stålproduksjon og valg av diskonteringsrate er de viktigste faktorene. Til sammenligning påvirker ikke usikkerheten i inputdata resultatet mye. Avfallshåndteringen kan være både fordelaktig og ufordelaktig for gulvkonstruksjoner i tre (Petersen og Solberg 2002a). I beregning av sparte klimagassutslipp er derfor forutsetningene om avfallshåndtering viktige. Andre forutsetninger som er viktige er for resultatene, er om karbonbindingen på det frigitte skogarealet regnes med, og hvilket rentekrav som legges til grunn. Gustavsson et al. (2006) fant at forskjellen mellom tre og betong i bærekonstruksjoner vil være størst hvis biomasseavfall fra produksjon av trematerialer blir utnyttet fullt ut i energiforsyningsystemer. Karbonmigreringseffektiviteten, uttrykt som biomasse brukt pr. enhet av reduserte karbonutslipp, er vesentlig bedre hvis tre blir brukt til å erstatte betong som bygningsmateriale enn hvis tre utnyttes direkte som biobrensel. Sathre og Gustavsson (2006) analyserte energi- og karbonbalansen av ulike sekundærkjeder for gjenvinning av tre. Ulike etterfølgende gjenvinningsmuligheter var gjenbruk av tre, repressering som sponplater, masse til papirprodukter og brenning for å utvinne energi. De sammenlignet energi- og karbonbalansen i kjeder av sekundærprodukter med balansen av produkter av fiber fra jomfruelig skog eller fra ikke-trematerialer. De beskrev og kvantifiserte flere mekanismer hvor sekundærproduksjon kan påvirke energi- og karbonbalansen: direkte sekundær effekt grunnet ulike egen-skaper og logistikk av jomfruelig og gjenvunnet materiale, og substitusjonseffekt grunnet ulik

arealutnyttelse når mindre tømmer trengs på grunn av sekundærbruk av tre. I noen analyser antar de at skogen er en begrensende ressurs, og i andre inkluderer de en gitt mengde skogareal som biomasse som kan høstes for bruk til materialer eller biobrensel. Energi- og karbonbalansen tar hensyn til produksjonsprosessen, gjenvinning og transportenergi, materialgjenvinningstap og skogprosesser. De kom frem til at arealbrukeffekter har størst effekt på energi- og karbonbalansen, fulgt av substitusjonseffekt, mens direkte sekundæreffekt er relativt liten.

Miljøpåvirkning

Jönsson et al. (1995) studerte ulike typer gulv. I motsetning til tre utvikler både vinyl og linoleum visse mengder farlig avfall, hovedsakelig fra produksjon av pigment. Tre er det eneste materialet som bruker fornybar energi, samt har høyest brennverdi. I evalueringen med tre ulike metoder gir furugulv best resultater. Den første metoden legger vekt på bruk av fossilt brensel og utslipp av CO₂, i de to andre vektlegges farlig avfall.

3.4.3 BYGNINGSKOMPONENTER

3.4.3.1 Gulvkonstruksjoner

- *I de undersøkte studiene har tregulv generelt et miljøfortrinn når det gjelder energibruk og CO₂ sammenlignet med andre materialer (Petersen og Solberg 2002a, 2003, 2004, Jarnehammar 1998, Jönsson et al. 1995, 1997).*
- *En studie viste at trekonstruksjon er verre enn betongkonstruksjon når det kommer til forsurening, eutrofiering og dannelse av fotokjemisk ozon (Jarnehammar 1998).*

Energibruk

Petersen og Solberg (2002a, 2003) sammenlignet gulvkonstruksjoner i heltre eik med skifer. Fremstilling av gulvkonstruksjoner i tre krever 60 % mer energi enn fremstilling av gulvkonstruksjoner i skifer.

Drivhusgasser

Petersen og Solberg (2002a, 2003, 2004) sammenlignet gulvkonstruksjoner. Gulv i heltre eik ble sammenlignet med skifer, og i en annen delstudie ble heltre eik sammenlignet med linoleum, vinyl teppe i ull og teppe i polyamid. Gulvmaterialer i heltre eik forårsaker lavere drivhusgassutslipp enn de andre materialene. Fremstillingen av gulvkonstruksjoner i tre forårsaker 65 % mindre klimagassutslipp enn fremstilling av gulvkonstruksjoner i skifer. De andre materialene kan bli rangert i følgende rekkefølge etter deres potensial for reduksjon av drivhus gasser: teppe i ull, teppe i polyamid, vinyl og linoleum. I beregning av sparte klimagassutslipp er forutsetningene om avfallshåndtering viktige. Gjennom livsløpet kan nettoutslipp av drivhusgasser bare unngås dersom tregulvet ved livsløpets slutt blir brukt til biobrensel. Andre forutsetninger som er viktige for resultatene, er om karbonbindingen på det frigitte skogarealet regnes med, og hvilket rentekrav som legges til grunn. For å analysere flyten av CO₂ over tid bør de kobles til skogskjøtselsmodeller. Sparte klimagassutslipp pr. m³ trevirke som brukes i en slik gulvkonstruksjon kan være opptil 1,263 t CO₂-ekvivalenter. Det er en del usikkerhet i estimatet, spesielt for skifer.

Jarnehammar (1998) sammenlignet tak/gulv-konstruksjoner i tre og betong. Trekonstruksjonen hadde ca. 60 % mindre påvirkning på global oppvarming enn betongkonstruksjonen. En EPS-evaluering som fokuserer på bruk av fossilt brensel og utslipp av CO₂, resulterte i at trekonstruksjonen var mye bedre enn betongkonstruksjonen. Alternativet i massivtre hadde mindre miljøvekt enn lette konstruksjoner som var laget av gipsplater og sponplater.

Miljøpåvirkning

Jönsson et al. (1995) og Jönsson et al. (1997) sammenlignet ulike gulv; linoleum-, vinyl- og heltre furugulv, i en LCA-case studie. Det konkluderes med at heltre-gulv både i kartleggingen og analysen av miljøpåvirkningen under visse forutsetninger klart er det beste alternativet av linoleum, vinyl og heltre. Når det gjelder utslipp av støv, er furugulv bedre enn vinylgulv, men verre enn linoleum. I tillegg forårsaker vinylgulv utslipp av klororganiske substanser til luft og vann (Jönsson et al. 1995).

I Jarnehammar (1998) sin sammenligning av tak/gulv-konstruksjoner i tre og betong fant de at trekonstruksjon er verre enn betongkonstruksjon når det kommer til forsurening, eutrofiering, og dannelse av fotokjemisk ozon. For forsurening og eutrofiering er dette på grunn av gipsplater i trekonstruksjonen så vel som transport. Fotokjemisk ozon kommer fra barkbrenningskjele på sagbruk. Betongkonstruksjonen forårsaker 50-80 % mindre påvirkning i disse kategoriene enn den verste av de to trekonstruksjonene.

3.4.3.2 Vinduer

Norén og Jarnehammar (1999) har gjennomført en LCA for to trevinduer og tre tre/aluminiumvinduer. Blant forutsetningene var 100 års levetid på bygget og henholdsvis 30 og 70 års levetid på vinduer. Miljøpåvirkningen som er studert omfatter drivhuseffekt, forsurening, bakkenært ozon og overgjødning. Vinduer med lang levetid medfører mindre miljøbelastning. En kort levetid medfører bytte av vinduer i løpet av byggets levetid: hvert slikt bytte av vinduer tilsvarer den miljøbelastningen som oppstår ved å produsere et vindu. Utslippene til luft domineres av CO₂, CO, H_xC_y, NO_x og SO_x som samtlige har opphav i fossilt brensel. Størst er utslippet av CO₂, som hovedsakelig kommer fra produksjon av planglass og aluminium. Generelt gjelder at energieffektive vinduer med lave utslippsverdier og lang levetid gir liten miljøpåvirkning. Store miljøgevinster kan oppnås ved å bruke slike trevinduer og tre/aluminiumvinduer.

3.4.3.3 Bærekonstruksjon

- *I miljøsammenligninger som omhandler bærekonstruksjoner, ble tre funnet best i 44 % av studiene (4 studier), tre kom ut likt med konkurrerende materialer i 44 % (4 studier) mens betong kom best ut i 11 % (1 studie).*

Energibruk

Sathre og Gustavsson (2007) studerte bygningsmaterialer og to like hus med tre og betong i bærekonstruksjoner. Produksjon av bygningsmaterialer i tre krever mindre energi enn produksjon av andre bygningsmaterialer som stål og betong. Bruk av trebaserte materialer resulterer i biomassebiprodukter, fra for eksempel hogst, videreforedling, bygging og riving, som kan brukes som biobrensel. Energibalansen for treprodukter er typisk negativ, det vil si at mer utnyttbar energi er produsert i form av biobrenselbiprodukter enn det som trengs for produksjon av materialer. I en sammenligning av to tilsvarende bygninger med tre- og forsterket betongbærekonstruksjon, var energikostnaden for materialproduksjon henholdsvis 1,3 og 1,7 % av den totale konstruksjonskostnaden, ved 2004-energi priser og industriavgiftsnivå. Høyere avgifter for karbonutslipp og bruk av fossilt brensel viser seg å øke den økonomiske konkurranseevnen til trekonstruksjoner. Dette skyldes både lavere energikostnader ved produksjon av trematerialer og den økte økonomiske verdien av biomassebiprodukter brukt for å erstatte fossilt brensel. Den totale energien og avgiftskostnaden er høyere for betong enn for tre i alle energiavgiftsregimene. Börjesson og Gustavsson (2000) studerte drivhusgassbalansen i bygninger med bærekonstruksjon i tre og betong fra et livssyklus- og arealbruksperspektiv. Betongbærekonstruksjon trenger 60-80 % mer energi i produksjonen av bygningsmaterialer enn bærekonstruksjoner i tre. Lenzen og Treloar

(2002) fant at energibehovet og drivhusgassutslippet var underestimert med en faktor på ca. 2 i Börjesson og Gustavsson (2000). Likevel støtter undersøkelsen konklusjonen til Börjesson og Gustavsson i at betongkonstruksjoner skaper høyere utslipp enn trekonstruksjoner.

Norén og Jarnehammar (2001) fant at energibruken for fremstilling er om lag den samme for ulike konstruksjoner i tre, betong og stål, men for trekonstruksjoner er andelen fornybar energi større. For trekonstruksjoner er den energien som går til gjenvinning når huset rives, minst like stor som den energien som trengs til fremstilling. Målet med studien til Adalberth (2000a) var ikke primært å sammenligne materialer selv om ulike materialer inngikk i de ulike bygningene. Fokus var på energibruk. En tabell sammenligner energibruk ved bærekonstruksjon av tre og betong. Tre ga totalt 8500 kWh/m² mens betong ga 8600 kWh/m². Denne forskjellen er liten eller ubetydelig.

Dokka (2003) sammenligner tilsvarende kontorer hvor forskjellen ligger i at den lette kontor-modulen har lette etasjeskillere i tre, panel i himling, og sponplate, mens den tunge kontor-modulen har etasjeskillere i betong med eksponert betong. Den lette kontormodulen viste et høyere årlig oppvarmings- og kjølebehov enn den tunge kontormodulen.

Drivhusgasser

I en studie av Kristensen (1999) ble det funnet at bærekonstruksjoner i limtre forårsaket 58 % mindre utslipp av CO₂-ekvivalenter enn ved bruk av stål, og 64 % mindre utslipp enn ved bruk av betong.

Gustavsson og Sathre (2006) fant at en bygning med bærekonstruksjon i tre hadde lavere energi- og CO₂-balanse enn bygningene med bærekonstruksjon i betong, i alle unntatt ett tilfelle. Gjenvinning av rivings- og trematerialrester for bruk i stedet for fossilt brensel bidro mest signifikant til lavere energi- og CO₂-balanse for bygningsmaterialer til bærekonstruksjoner i tre.

Norén og Jarnehammar (2001) fant at trekonstruksjoner generelt gir et lavere bidrag til drivhus-effekten enn sammenlignbare konstruksjoner i betong og stål.

Fossdal (1995) så på energiforbruk i bolig og kontorbygg, og fant at det var de bærende konstruksjonene som ga de største bidragene til global klimaendring. Dette gjaldt for alle byggene, og av disse utslippene utgjorde transporten ca. 8-10 %.

Borjesson og Gustavsson (2000) studerte drivhusgassbalansen i bygninger med bærekonstruksjon i tre og betong fra et livssyklus- og arealbruksperspektiv. Netto drivhusgassbalanse for trematerialer vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving av bygningen. Netto drivhusgassbalanse vil være litt positiv hvis alt rivingsvirke av tre brukes til å erstatte fossilt brensel, litt negativ hvis deler av rivingsmaterialet gjenbrukes, og klart positiv hvis alt trevirke deponeres på avfallsplass, grunnet produksjon av CH₄. Men hvis biogass samles opp og brukes til å erstatte fossilt brensel, vil netto drivhusgassutslipp være ubetydelige. Hvis bærekonstruksjoner i betong brukes, vil drivhusgassutslipp være omtrent likt som når tre deponeres på fyllplass og ingen deponigass samles opp. Beregningene forutsetter at CO₂ avgitt fra kjemiske prosesser i produksjonen av sement vil binde seg igjen til betong ved en karboniseringsprosess. Hvis dette ikke skjer, vil netto drivhusgassutslipp ved bruk av sement bli dobbelt så høyt. Hvis skogsbiomasse brukes i stedet for fossilt brensel, vil netto skogareal som trengs for å gi råmaterialer og energi til produksjon av bygningsmaterialer være dobbelt så stort for tre som for betong. Men drivhusgassmigrasjonseffektiviteten vil være 2-3 ganger høyere hvis bærekonstruksjon i tre brukes, forutsatt at overflødig tremateriale og hogstavfall brukes til å erstatte fossilt brensel. Skogen i betongbærekonstruksjon alternativet brukes til å erstatte fossilt brensel, men hvis denne skogen brukes til å lagre karbon, vil migrasjonseffektiviteten være høyere for første omløpsperiode (100 år), men lavere for de følgende periodene. De avslutter med at dataene i analysen er forbundet med usikkerhet, men at å forstå kompleksiteten i å sammenligne ulike alternativer for utnytting av skog for drivhusgassmigrasjon, og det faktum at tidsaspektet tydelig påvirker resultatene, er viktigere enn nøyaktige tall på inputdata.

Gustafsson et al. (2006) fant at bærekonstruksjoner i tre krever mindre energi og avgir mindre CO₂ til atmosfæren enn bærekonstruksjoner i betong. Livssyklusutslippene mellom bærekonstruksjoner i tre og betong varierte fra 30 til 130 kg C pr. m² gulvareal. Derfor kan man oppnå en netto reduksjon av CO₂-utslipp ved å øke proporsjonene av trebaserte bygningsmaterialer i forhold til betongmaterialer. Forskjellen mellom tre og betong i bærekonstruksjoner vil være størst hvis biomasseavfall fra produksjon av trematerialer blir utnyttet fullt ut i energiforsyningssystemer. Karbonmigreringseffektiviteten, uttrykt som biomasse brukt pr. enhet av reduserte karbonutslipp, er vesentlig bedre hvis tre blir brukt til å erstatte betong som bygningsmateriale enn hvis tre utnyttes direkte som biobrensel.

Miljøpåvirkning

Kristensen (1999) fant at sammenlignet med betong var limtre bedre på forsurening og eutrofiering, men verre på fotokjemisk oksidantdannelse. Sammenlignet med stål var bærekonstruksjoner i limtre bedre på fotokjemisk oksidantdannelse, lik for forsurening og verre på eutrofiering. Limtrekonstruksjonen var svært ufordelaktig ved klassifikasjonsfaktor for menneskelig toksisk effekt og økotoksisk effekt.

Björklund og Tillman (1997) analyserte og vurderte miljøpåvirkningen til betong- og trebærekonstruksjon i bygninger gjennom livssyklus ved hjelp av LCA. De fant ingen store miljømessige forskjeller på de ulike bærekonstruksjonene over livsløpet, forutsatt at rivingsmaterialet blir gjenvunnet som lavverdig materiale i rivingsfasen. Ved å se på produksjonsfasen for bolighus ble bærekonstruksjonen av tre generelt gradert noe lavere enn betong.

3.4.3.4 Takbjelker

Takbjelker i stål og limtre ble sammenlignet av Petersen og Solberg (2002c). De fant i sin studie at produksjon av stålbjelker trenger dobbelt så mye energi som produksjon av limtrebjelker. Avfallshåndtering av limtre kan gi redusert drivhusgassutslipp hvis limtre brennes og energien brukes til å erstatte fossil energi.

3.4.3.5 Yttervegger

- *Lengre levetid og lavere vedlikeholdsbehov er en fordel ut fra miljøsynspunkt så lenge tiltakene for å forbedre disse ikke gir en større påvirkning til det ytre miljøet (f.eks. som miljøbelastning ved produksjon)*
- *Tre ble funnet å være det beste miljøalternativet i yttervegger i de to studiene som er med i denne rapporten*

Yttervegger i tre ble funnet å være det beste miljøalternativet av Hassan (2004) i en studie der yttervegger i tre, mur og betong ble sammenlignet. Strömberg (2004) så på overflatebehandling for utvendig trekledning: løsemiddelbasert alkyd overflatebehandling, vannbasert akryl overflatebehandling, vannbasert akryl beis, løsemiddelbasert alkyd beis og alkyd olje. Vedlikeholdsintervaller var basert på råd fra produsent og resultater fra testeksponering. Miljøpåvirkningen av ulike behandlinger på utvendig kledning er avhengig av levetiden. Vannbasert akryl overflatebehandling og vannbasert akryl beis var de beste valgene med hensyn til levetid og holdbarhet. Påføring og tørking er den viktigste fasen, og påvirker total miljøpåvirkning. (Gjelder manuell påføring av løsemiddelbaserte systemer). Han opplyser at grunnet vektning i analysen kan konklusjonen for de ulike scenarioene diskuteres. ISO 14042 anbefaler ikke vektning. Jarnehammar (1998) fant at både for yttervegger og bjelkelag gir de produktene som er trebasert et lavere bidrag til drivhuseffekten enn sammenlignbare konstruksjoner i betong og mur. Årsaken er at fornybare råvarer brukes til energifremstilling ved produksjonssted. Men mer treintensive produkter gir et høyere bidrag til dannelsen av bakkenært ozon. Lengre levetid og lavere vedlike-

holdsbehov er en fordel ut fra et miljøsynspunkt hvis tiltakene for å forbedre disse (som miljøbelastning ved produksjon) ikke gir en større påvirkning til det ytre miljøet. Vurdering av miljødata bør gjøres gjennom en klassifisering i flere ulike miljøpåvirkningskategorier. Vurderinger som resulterer i én eneste verdi, bør unngås. LCA-metodikken er et verktøy for å gjøre overgripende bedømmelser av et produkts miljøpåvirkning. Mulighetene for å gjøre direkte sammenligninger mellom ulike materialer er i dag begrenset. Metoden bør brukes for miljøtilpasset produktutvikling internt i bedriftene.

3.4.4 LITTERATURSAMMENLIGNINGER

- *To studier konkluderer med at tre generelt er bedre enn konkurrerende materialer, én konkluderer med at tre er best under noen gitte forutsetninger.*

I de fire litteraturstudiene under refererer vi i denne rapporten til analyser og konklusjoner i disse arbeidene.

Brunklaus og Baumann (2002)

Brunklaus og Baumann fra Chalmers Tekniska Högskola har i sin ESA-rapport på oppdrag fra Miljøverndepartementet i Sverige gransket et antall miljøstudier som sammenligner bruk av tre med andre materialer i hus. Dette for å avgjøre hvilken betydning en økning i trebebyggelse i Sverige vil medføre for miljøet. Disse sammenlignende studiene er hovedsakelig LCA-studier.

Arbeidene som er vurdert er: Norén og Jarnehammar (2001), Björklund et al. (1996), Björklund og Tillman (1997), Forsberg og Johansson (1999), Adalberth (2000a), Graulich (2001) og Quack (2001).

Brunklaus og Baumann sier i konklusjonen at:

Granskingen av LCA-rapportene har vist ulike svar på om tre er et miljømessig bedre alternativ. To LCA-studier (Norén og Jarnehammar 2001, Forsberg og Johansson 1999) viser tydelig at tre er et miljømessig bedre alternativ enn materialer som betong, stål eller tegl fordi tre 1) er en fornybar ressurs og gir energi ved sluttbehandling og 2) bidrar ikke til økt CO₂-utslipp fordi CO₂ fra forbrenning tas opp av skogen.

Flere mangler kan ifølge Brunklaus og Baumann påpekes med hensyn til overnevnte studier (Noren og Jarnehammar 2001, Forsberg og Johansson 1999), for eksempel definisjonen av funksjonell enhet, slik at sammenligningene ikke blir helt rettfærdige, haltende datavalg og et snevrere utvalg av sammenlignede miljøaspekter. Universitetsstudiene (Björklund et al. 1996, Björklund og Tillman 1997, Adalberth 2000a, Graulich 2001, Quack 2001) viste seg ifølge Brunklaus og Baumann å være langt mer dekkende og detaljerte. Metodevalget i disse studiene har også vært mer konsistent med hensyn til studienes mål og studieobjekt. Resultatene i disse studiene kan anses for å være mer robuste.

Universitetsstudiene viser ingen forskjell mellom tre og andre materialer sett over husets levetid. Hvis man bare betrakter oppføring av hus, viser en del av studiene at tre er et noe bedre miljøalternativ, men marginene er ikke store (< 20 %). Miljøpåvirkningen ved oppføring "drukner" likevel i miljøpåvirkningen som følge av bruk av huset (pga. oppvarming og annen energibruk) ifølge universitetsstudiene (Björklund et al. 1996, Björklund og Tillman 1997, Adalberth 2000a, Graulich 2001 og Quack 2001). Quack (2001) viser at selv for lavenergihus (dvs. hus med lavt energiforbruk i bruksfasen) er energibruk ved oppføring en ubetydelig faktor sammenlignet med driftsfasen. Videre har forekomsten av farlige produkter/kjemikalier i maling, tapeter, sparkel, brannbeskyttelse og lignende i tegl- og trehus vist seg å være mer betydningsfull enn selve konstruksjonsmaterialet (Graulich 2001).

Konklusjon: tre kan bare ses som et bedre miljøalternativ under visse forutsetninger:

1. Argumentet om at tre er en fornybar ressurs, er miljømessig interessant dersom økt trebruk ikke fører til mer CO₂-utslipp, og om skogbruket er bærekraftig.
2. Argumentet om at trevirke gir energi ved sluttbeholdningen, forutsetter at man brenner avfallet med energiutvinning i fremtiden (40-100 år), og at en da ikke har miljøvennlige alternativer.
3. Argumentet om at tre ikke bidrar til økt CO₂-utslipp, må ses i relasjon til karbonbinding i treprodukter og i skogen, samt relativt CO₂-utslipp fra øvrig energiproduksjon.
4. Argumentet om at tre er bedre for helsen, er ikke klarlagt. Tvert imot, valg av produkter med helseskadelig innhold som farge, lim, sparkel o.l. har vist seg å ha stor betydning, og er uavhengig av bygningsmateriale.

Sammendragsvis sier de at om en vil oppnå redusert energibruk og mindre CO₂-utslipp i samband med hus, så er det mye viktigere å gjøre en innsats i bruksfasen (oppvarmingssystem, elektrisitet, varmtvann) enn i materialvalget ved byggingen.

Petersen og Solberg (2005)

Petersen og Solberg (2005) har i *Forest Policy and Economics* gitt en "state of the art" oversikt over kvantitative analyser fra Norge og Sverige på LCA, som sammenligner miljøeffekten ved substitusjon mellom tre og alternative materialer, med fokus på drivhusgassutslipp, økonomi og metoder.

Arbeidene tatt med i denne studien omhandler sammenligning av LCA-studier av treprodukter og konkurrerende materialer: Mørkved og Opdal 1990, Fossdal 1995, Jönsson et al 1995, Engelbertsson 1997, Björklund og Tillman 1997, Jarnehammar 1998, Engberg og Eriksson 1998, Kristensen 1999, Börjesson og Gustavsson 2000, Petersen og Solberg 2002a,b,c. For CO₂-sammenligning mellom tre og andre materialer: Björklund og Tillman 1997, Engelbertsson 1997, Engberg og Eriksson 1998, Jarnehammar 1998, Kristensen 1999, Börjesson og Gustavsson 2000, Petersen og Solberg 2002a,b,c.

I alle studiene referert til i denne oversikten er tre et bedre alternativ enn andre materialer med hensyn til drivhusgassutslipp. Videre forårsaker tre mindre utslipp av SO₂ og genererer mindre avfall sammenlignet med alternative materialer. Tre behandlet med trebeskyttelsesmidler kan på den andre siden forårsake en toksisk påvirkning på menneskers helse og på økosystemet. Når det gjaldt forsuring, overgjødning og bakkenært ozon, var resultatene varierende mellom studiene. Mengde drivhusgasser man sparer ved en substitusjon mellom tre og stål, er mellom 36-530 kg CO₂-ekvivalenter pr. m³ tilførsel av tre, avhengig av avfallshåndtering av materialene og hvordan karbonfiksering i skogarealet er inkludert. Ved substitusjon mellom tre og betong er dette tallet 93-1062 kg CO₂-ekvivalenter, hvis tre ikke deponeres etter bruk.

Petersen og Solberg sier videre at mange LCA kan bli vesentlig forbedret hvis analysen blir gjort med flere alternative forutsetninger med hensyn til rammene for systemet brukt i LCA. Dette er viktig, ikke minst for å kartlegge hva som er hovedforutsetningene for de presenterte resultatene, og for å sammenligne med andre studier.

Det er også viktig å ta med i betraktningen tidsprofilen til drivhusgassutslipp og andre virkninger gjennom livssyklus.

Tre som bygningsmateriale er konkurransedyktig på pris i de studiene som inkluderer kostnader. Det er et svakt punkt i mange LCA at kostnader så vel som andre økonomiske aspekter som påvirker produktsubstitusjon ikke inkluderes, og det er en stor forskningsutfordring å kombinere tradisjonell LCA med økonomiske analyser for å gjøre begge mer relevante.

Petersen og Solberg presenterer i tabellform:

- En sammenligning av litteratur på komparative studier av treprodukter og konkurrerende materialer
- Antall kg innsparte CO₂-ekvivalenter pr. m³ rundvirke som input i produksjon av treprodukteter som substituerer andre materialer.

Tabellene er gjengitt i Appendiks 2.

Norén og Jarnehammar (2002)

Rapporten til Norén og Jarnehammar (2002) er støttet av Swedish Wood Association og Vinnova.

Rapporten beskriver "state of the art" for miljøvurderinger av trebygninger med spesiell fokus på Europa og Canada. En litteraturgjennomgang refererer til miljøaspektene av trebygninger i sammenligning med bygninger av andre materialer. En oversikt over de vanligste kommersielle evalueringsverktøyene er presentert. Studien refererer også til arbeid i den Europeiske kommisjonen for harmonisering og standardisering av LCA-verktøy og miljøaspektene i konstruksjonsstandardene.

Ti ulike miljøvurderingsverktøy presenteres kort i rapporten. Ifølge Norén og Jarnehammar fantes det i 2002 få studier i litteraturen hvor miljøegenskapene for trebygninger sammenlignes med bygninger av andre materialer slik som stål og betong. De baserer derfor denne rapporten på arbeidet til Trusty og Meil 1999, Scharai-Rad og Welling 2002, Norén og Jarnehammar 2001, Björklund et al. 1997 og Krogh et al. 1998. I tillegg så de også på en LCA-studie som ikke inkluderte tre. I en studie utført ved Trätec i 2001 av Jarnehammar, er miljøundersøkelser på andre materialprodusenter samlet, og konklusjoner vedrørende LCA-arbeid for plastikk-, stål-, aluminium- og betongindustrien er sammenfattet.

Konklusjon:

1. Miljøpåvirkningen er lavere for trebygninger enn for bygninger av andre materialer.
2. Det er behov for standardisering og harmonisering av LCA-verktøy og miljøaspektene i bygningsstandardene. Det er også viktig å etablere et vel organisert system for å samle inn miljødata for bygningsmaterialer og prosesser.
3. Et analyseverktøy kan være sofistikert og inkludere mange aspekter, men uten representative data vil det ikke bli pålitelige resultater, spesielt når en sammenligner bygninger og strukturer av ulike materialer.

3.5 Videre forskning

3.5.1 IGANGSATTE PROSJEKTER

Det er nylig startet prosjekter som vil være med å øke kunnskapen i Norge innen flere av de ovennevnte temaene.

- MIKADO – Kartlegging og dokumentasjon av miljøegenskaper for tre og trebaserte produkter - et Treforsk-samarbeid igangsatt høsten 2007, BIP støttet av NFR og Treindustrien. Prosjektets hovedmål er å etablere et vitenskapelig dokumentasjonsgrunnlag om miljøegenskapene til tre og trebaserte produkter for å fremme miljøkvaliteter som konkurransefaktor for treindustrien.

Hovedmålet oppnås gjennom følgende fire delmål:

- Fremskaffe oppdatert og vitenskapelig datagrunnlag gjennom hele livsløpet for tre- og trebaserte produkter.

- Lage en brukervennlig og tilgjengelig database der dokumentasjon av miljø- og ressursforholdene presenteres i et livsløpsperspektiv, fra uttak av råmaterialer til avhending og håndtering av avfall.
- Vurdere effektiviteten av potensielle miljøforbedringer ut fra tekniske forutsetninger og økonomiske hensyn for å gjøre tre og trebaserte produkter mer konkurransedyktige.
- På basis av opparbeidet faktagrunnlag, bidra til miljøstyrt produktutvikling for partnere i prosjektet, og utløse innovative løsninger for eksisterende og ny bruk av tre og trebaserte produkter.
- GLITNE – Mer miljøvennlige bygg gjennom økonomisk verdsetting av miljøeffekter. – SINTEF Byggforsk, 4-årig NFR-prosjekt.
- Prosjektet "Tre i by - Hvilke mekanismer styrer materialvalget for større urbane byggverk?", forprosjekt avsluttet 2006 (Denizou et.al 2007). 3-årig NFR prosjekt. SINTEF Byggforsk.
- MOT – Morgendagens trevinduer – SINTEF Byggforsk. 3-årig NFR prosjekt. Utvikling av energieffektive trevinduer.
- Greenwood: increasing wood deliveries and environmental quality – Skog og landskap
- "Psychological Effects of Wood Used in Indoor Settings" - Treforsk-samarbeid, 3-årig NFR prosjekt.
- Enøk i varme- og tørkeanlegg i trelastindustrien - Treteknisk, finansiert av Enova og Tørkeklubben.
- Produktrettet effektivisering av tørkeprosessen - Treteknisk, finansiert av NFR og Tørkeklubben.
- Ifølge en artikkel på www.bygg.no arbeider Multikonsult, Norcem og forskningsmiljøene SINTEF Byggforsk og Stiftelsen Østfoldforskning sammen med Byggevarerindustrien med å etablere et prosjekt for miljø- og økonomivurderinger av bygningsprosjekter. Målet med prosjektet er å utvikle et LCC/LCA basert verktøy for miljø- og økonomivurdering av bygg i tidligfase planlegging av byggeprosjekter, Forprosjekt er i gang.

3.5.2 FORSLAG TIL NYE PROSJEKTER

Det er et klart behov for ytterligere forskningsaktivitet i Norge som ytterligere kan klargjøre hvordan bruk av trevirke påvirker miljøet. Å sammenligne trevirkets egenskaper med andre bygnings- og konstruksjonsmaterialer krever videre utvikling av metodene for livsløpsvurderinger, spesielt tolking av materialet. Det som trengs er flere studier som er grundige nok, slik at en kan sammenligne samme bruksmåter og forutsetninger.

Skogbruk

- Få bedre forståelse av i hvilken grad ulike typer skogbehandling påvirker klimagasser.*
- Få en dypere forståelse av problemer og temaer som er spesifikke for klimagassmigrasjon i skogbruket*.
- Se mer på tidsdimensjonen, når i livsløpet emisjon eller fiksering av klimagasser skjer, og definering av egnede systemgrenser*.
- Øke kunnskapen omkring CO₂-lagring og balanse i skog, både i jordsmonn og trær.
- Øke kunnskapen omkring CO₂-regnskap/total miljøbelastning (LCA) ved aktivt skogbruk/ungskogleie vs. stående skog.

- Det er viktig å finne kost-effektiviteten av endringer i skogbehandling, forstå hvilke usikkerheter som er tilstede, og utvikle hensiktsmessig verktøy for planlegging*.
- Basert på eksisterende og ny kunnskap, fremskaffe datagrunnlag for miljøpåvirkning fra frø til sag under norske forhold.
- Videreutvikling av LCA-metode og EPD-verktøy for å innlemme hensyn til biologisk mangfold i miljøvurdering av skog.
- LCA studier av ulike driftstekniske systemer (taubaner/lassbærer) i skogbruket og effekter av industristruktur (transportavstander etc.)

*hentet fra Raymer (2005)

Bygg

- Når det gjelder bygninger, er det påpekt i flere rapporter at bruksfasen står for store deler av energibruken i løpet av livssyklusen. Det vil derfor fortsatt være viktig å arbeide videre med å utvikle metoder for energibesparelser i bygninger, enten i form av byggemetoder og materialvalg, eller valg av energiform ved oppvarming, kjøling og ventilasjon.
- Utvikling av gode løsninger for trekonstruksjoner/elementer med høy isoleringsevne.
- Arbeide videre med EPD'er for treprodukter. Økt fokus på bruk av EPD i byggebransjen.
- Undersøke LCA av ulike treprodukter under norske forhold, for eksempel kledning, innvendig panel, vinduer/dører, gulv, bolighus og møbler.
- LCA for konstruksjoner og hele bygg, og å sammenlignende studier av ulike konstruksjonsalternativer.
- Sammenlignende LCC og LCA-studier av materialer, konstruksjon og bygg under norske forhold.
- Kost/nytte-vurderinger av miljøforbedrende tiltak.
- Øke kunnskapen omkring CO₂-lagring og -balanse i trekonstruksjoner/bygg.
- Økt kunnskap og dokumentasjon av inneklimategenskaper/emisjoner fra tre.

Levetid/vedlikehold

- Undersøke nye trebeskyttelsesmetoder og innvirkning på den totale miljøbelastning over livsløpet (LCA). Sammenligninger av materialer, innhold av helse- og miljøfarlige stoffer.
- Innvirkning av vedlikeholdsintervaller for utvendig kledning på LCA-sammenligninger av materialer. Miljøvurdering og sammenligning av ulike alternativer for overflatebehandlings.

Avfall

- Evaluere konsekvenser av deponiforbud for organisk avfall.
- Kartlegge potensielle mengder av treavfall fra eksisterende bygg – grunnlag for etablering av nye forbrenningsanlegg for treavfall.

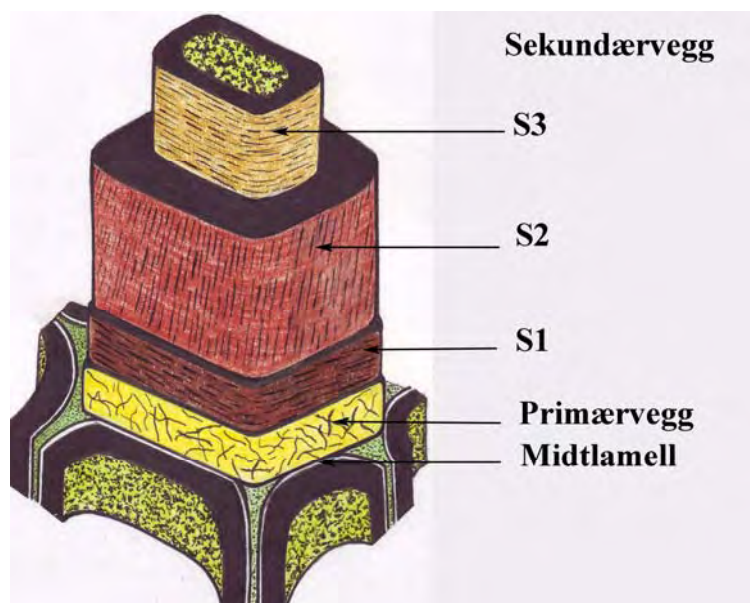
4 TREVIRKETS HOLDBARHET

Tre er et organisk, heterogent og hygroskopisk materiale. De nordiske treslagene er generelt ikke spesielt holdbare mot biologisk nedbrytning. I et kaldt og temperert klima kan trevirke likevel vare i 1000 år om det blir behandlet riktig. På den andre siden kan det også brytes ned etter kort tid i

jordkontakt eller i saltvann. Biologisk nedbrytning av ved forårsakes av sopp, bakterier og insekter. Deres vekstforhold og effekt på trematerialer varierer. Råtesopp påvirker styrken til trematerialene, mugg og blåvedsopp forårsaker misfarging. Bakterier forårsaker lokale angrep på fuktig ved, og vednedbrytende insekter utnytter også næringen i ved og forårsaker mekaniske skader. Hvis man holder trevirket i konstruksjoner tørt, er det gode muligheter for at det får lang levetid. Utfordringen er selvfølgelig hvordan man skal holde det tørt. En annen måte å beskytte tre på, hvis man ikke har anledning til konstruktiv trebeskyttelse, er kjemisk trebeskyttelse. Etter at det ble lagt restriksjoner på bruken av trebeskyttelsesmidler inneholdende CCA (krom, kobber og arsen), har fokus på å finne nye alternative miljøvennlige trebeskyttelsesmidler økt. Samtidig har det også blitt økt fokus på forbedringer av testmetodikk for utprøving av nye midler for trebeskyttelse.

4.1 Nøkkelfaktorer for biologisk nedbrytning

Mikrobiologisk nedbrytning er ofte forårsaket av en suksesjon av bakterier, muggsopp, blåvedsopp og råtesopp. Nedbrytning av trekonstruksjoner forårsaket av insekter er et relativt lite problem i Norge. Alvorlig soppnedbrytning er forårsaket av brunråte- og hvitråtesopp (basidiomyceter) eller av visse mykråtesopper (ascomyceter). Brunråtesopp vokser i cellelumen hvor de antas å skille ut enzymer og syrer som diffunderer ut i de omliggende trecelleveggene og forårsaker nedbrytning. S2-laget i celleveggen blir normalt kraftig nedbrutt mens S3-laget kan være relativt lite nedbrutt.



Figur 3. Illustrasjon av en trecelles (trakeide) oppbygging. Illustrasjon: Sigrun Kolstad. Basert på Côté (1967).

Depolymerisering av cellulose skjer raskt i de tidlige nedbrytningstrinn, og gir raskt styrketap. I sene trinn av nedbrytningen krymper veden i et typisk kubisk mønster og blir brun (Viitanen og Ritschkoff 1991). Hvitråtesopp er, i motsetning til brunråtesopp, i stand til å bryte ned lignin, og kan samtidig bryte ned cellulose og hemicellulose. Løvtrær er generelt mer utsatt for angrep av hvitråtesopp enn bartrær. Mykråtesopp kan deles inn i type I ("huledannende") og type II (erosjon). Hyfene av mykråte type I kan trenge inn i sekundærveggen og primært degradere cellulose, men kan også modifisere lignin. Karakteristiske hulrom med koniske ender dannes, ofte orientert med mikrofibrillene. Veden blir gråaktig eller brun, og blir myk i overflaten. Vekttapet skjer ofte sakte men bøyefastheten blir ofte sterkt redusert (Viitanen og Ritschkoff 1991). Mugg og blåvedsopp bryter i liten grad ned cellulose og lignin, men bryter heller ned stivelse, sukker og andre lav-

molekylære forbindelser. Disse soppene forårsaker misfarging uten signifikant reduksjon av styrke eller vekt. Ved et angrep av blåvedsopp vil trefuktigheten øke, noe som fører til forbedrede levedkår for bakterier. Bakterier koloniserer ofte ved under fuktige betingelser. Bakterier kan bryte ned pektin i poremembranen og permeabiliteten vil da øke. Selv om få av de kjente vednedbrytende soppene i naturen er brunråtesopper, er brunrâte vanligste skadegjørere i bygg. Brunrâte er unik ved at den gir høy grad av styrketap allerede ved lavt vekttap. Få hvitråtesopper er viktige skadegjørere i bygg sammenlignet med brunrâte. Cellulose brytes saktere ned ved hvitråteangrep, og styrketapet er derfor mindre dramatisk. Typen av hvitråteangrep influerer også på styrken. Simultan hvitråte reduserer bøyefastheten mer enn selektiv hvitråte (Schwarze et al. 2000).

De to viktigste abiotiske faktorene som påvirker nedbrytning av tre, er fuktighet og temperatur. Ingen absolutt verdi er brukt i litteraturen for å angi kritisk nedre fuktighetsgrense for initiering av soppangrep, men verdien ligger et sted mellom 20 % trefuktighet og fibermetning. Fuktrisiko, dager med over 20 % fuktighet i veden, blir ofte brukt som en indikator i felttesting. Hvor denne grensen ligger, avhenger selvfølgelig av sopparten. Optimum for brunrâte ligger på 30-70 % trefuktighet, og øker under nedbrytningsprosessen opp mot 150-250 %. Muggsopp kan vokse ved lavere fuktigheter. Når det gjelder temperatur, starter brunråtesopp sakte vekst ved 0 til 10 °C, optimum er mellom 15 og 40 °C avhengig av sopparten når relativ fuktighet er over 97-98 % (Viitanen og Ritschkoff 1991).

Andre viktige faktorer for økt holdbarhet er:

- Soppenes næringsforhold: svært avhengig av soppart
- Vedegenskaper: treslag, kjerneved i forhold til yteved, densitet, vekstrate, kvist, årring orientering og ekstraktivstoffmengde
- Kvalitet fra sagbruk og forhandler med tanke på håndtering og lagring
- Bygningsutforming og utførelse. Konstruktiv beskyttelse
- Interaksjoner med andre materialer
- Påføring av trebeskyttelsesmidler og overflatebehandling
- Makro- og mikroklima
- Vedlikeholdsintervaller

Soppskader i norske hus

I et samarbeid mellom Mycoteam og Skog og landskap er det laget en sammenfatning av hvilke råtesopper som forekommer i norske hus (Alfredsen et al. 2005). Trettifem ulike arter/slekter/grupper ble registrert. Brunråtesopp var mer frekvent (77,4 %) enn mykråtesopp (19,2 %) og hvitråtesopp (3,4 %). Kjellersopp (16,3 %) og ekte hussopp (16 %) var de hyppigst registrerte artene. Arter av slekten hvitkjuke ble registrert i 18,4 % av funnene, mens gruppen barksopp sto for 18,4 % og mykråtesopp for 15,8 %. Undersøkelser av hvilke bygningskomponenter som var angrepet, viste at råtesoppskadene var hyppigst i vegger (18,3 %). Skader i gulv utgjorde 13,4 % og tak 8,8 %.

4.2 Trebeskyttelse

Ingen byggematerialer varer evig, også stål, betong og marmor forvitrer, men riktig bruk er med på å øke levetiden betraktelig. Eksempler på gamle trekonstruksjoner som har vist seg å ha lang levetid, er de norske stavkirkene. Det er flere årsaker til dette:

- Det ble brukt materialer av god kvalitet, gjerne furu kjerneved.
- Tjære ble brukt som overflatebeskyttelse. Tjære inneholder en rekke stoffer som er hemmende for biologisk aktivitet, samtidig som den er med å beskytte mot store fuktighetssvingninger i trematerialet. Tjære var dyrt, så mange steder er det bare de mest

utsatte bygningsdelene som har blitt tjæret. Vanlige folks hus sto stort sett ubehandlet. Tjærebrenging var nokså enerådende som utvendig behandling av trehus her i landet helt frem til siste del av 1600-tallet (Sivertsen 2002a).

- De som bygde stavkirkene, hadde god forståelse for konstruktiv beskyttelse. Kirkene er bygget med gode løsninger for å lede bort vann. Det er ikke sikkert alle stavkirker var genialt bygd, men det er de gode vi ser i dag.
- Et spesielt viktig poeng for at bygninger av tre skal vare lenge, er at alle deler er tilgjengelige for utskifting. Dette betyr at selv om selve bygget er gammelt, er ikke nødvendigvis alle bygningskomponentene like gamle.
- Man kan se på tjære, panel og takspån som offersjikt, de ofres til fordel for resten av konstruksjonen. Tjære slites bort av vær og vind, og må påføres med jevne mellomrom for å spare trematerialene. Kledning og takspån utsettes likevel for store påkjenninger gjennom århundrer. Det er disse som er utsatt for den største risikoen for råte, og om dette skjer, er det da også viktig å skifte dem ut før andre deler av konstruksjonen angripes.
- De tidligste typene maling som kom i bruk fra 1700 tallet var nok like mye et estetisk fenomen, styrt av moter, som beskyttelse mot nedbrytning. Den ga imidlertid et ekstra offersjikt utenpå panelet. Mange av de gamle pigmentene er giftige (eksempler er blyhvitt, blymønje og falurødt), og ga dermed en viss beskyttelse mot mikroorganismer. I 1860-årene ble det meget giftige blyhvittpigmentet erstattet med sinkhvitt, som holdt seg hvitt lenger (Sivertsen 2002b).

Bruksområder for trematerialer kan deles inn på ulike måter. Nordisk Trebeskyttelses Råd (NTR) bruker følgende inndeling: innendørs (B), over bakke (AB), i jordkontakt (A) og i marint miljø (M). I henhold til den europeiske standarden EN 350 kan man dele inn i følgende bruksklasser (tidligere kalt risikoklasser): 1 innendørs, 2 tildekket, 3 over bakken, 4 i jordkontakt, 5 i konstant fuktighet. De ulike bruksmiljøene fordrer ulike tiltak for å få lengst mulig levetid. Levetid kan deles inn i teknisk-, funksjonell- og estetisk levetid. Ofte skiftes materialer ut grunnet estetiske hensyn, lenge før den tekniske og funksjonelle levetiden er over. Man kan bruke ulike former for beskyttelse av tre. Da må man ta hensyn til bruksområder og ønsket levetid.

Hva kjennetegner et godt trebeskyttelsesmiddel? (Leightley 2003) kom med følgende liste over egenskaper som ideelt sett bør oppfylles. Det er ikke realistisk å oppfylle alle disse kriteriene, men de er viktige å strekke seg mot ved utvikling av nye systemer.

- God effektivitet til lav kostnad mot en rekke vednedbrytende organismer
- Ikke skadelig for mennesker og andre "non-target" organismer
- Stabilt i den lovede levetiden
- God inntrengning
- Enkelt og sikkert å bruke
- Bryter ikke ned ved
- Lett å få tak i
- Mulig å bruke kommersielt
- Enkelt å resirkulere

Tradisjonell trebeskyttelse besto av tjæreoljebaserte systemer som kreosot, organisk løselige midler som pentaklorfenol eller vannbårne arsener som CCA. Det ble innført restriksjoner i bruk av CCA (kobber, krom, arsen) fra 1. oktober 2002. Det er forbud mot å importere, eksportere, omsette, ta i bruk eller gjenbruke alle typer produkter av trevirke impregnert med krom eller arsen. Unntatt er trevirke brukt i næringsvirksomhet, hvor det av hensyn til sikkerhet er nødvendig med god beskyttelse mot råte. Kreosot og CCA-impregnert virke er nå også definert som farlig avfall. CCA var et "universalmiddel" som kunne brukes i de fleste utendørs konstruksjoner i ulike konsentrasjoner. Produksjonen i 1999 var på ca. 278 000 m³, hvor 224 000 m³ var for bruk over bakke. Produksjonen av kreosotvirke var på ca. 19 000 m³. Et seriøst avfallsproblem vil dukke opp når de store kvantaene med CCA kommer inn til avfallsdeponiene i tiden fremover. Fred Evans på Norsk Treteknisk Institutt (NTI) har estimert at i perioden 2001-2010 vil det være rundt 10 000 tonn CCA-avfallsvirke. Basert på at produksjonen økte fra 1960 og frem til i dag, er det estimert at det vil bli en økning av avfallet til 33 000 tonn pr. år i perioden 2011-2020 og videre 180 000 tonn pr. år fra 2040.

Andre generasjon trebeskyttelse for privat bruk er kobberorganiske blandinger. Mange av de nye kobberorganiske systemene lekker mer kobber enn CCA-impregnert virke. Dette skyldes fravær av krom, som i CCA-systemet delvis oksiderer lignocellulose og gir sterke bindinger for kobber. Kobber er ikke like toksisk som krom og arsen, men akkumulering av kobber har noen negative miljøaspekter, spesielt for vannlevende organismer. Det blir trolig restriksjoner på bruk av kobber. Avfallshåndtering av kobberimpregnert virke vil også skape utfordringer.

Tredje generasjon trebeskyttelse er ikke-metalliske biocider, stoffer utvunnet fra naturlige råstoffer og tremodifisering. Mange metallfrie biocider er utviklet for landbruksformål, for senere å bli testet som trebeskyttelsesmiddel. De er ofte selektive i mikrobiologisk aktivitet, og kombinasjoner av biocider vil ofte måtte brukes. De er oftest dyrere enn CCA, og de fleste er ikke vannløselige. Eksempler på bruk av naturlige råstoffer for trebeskyttelse er kitosan og tallolje. Kitosan utvinnes fra kitin, et polymer ekstrahert fra restprodukter fra skalldyr. I motsetning til kitin er kitosan løselig i vann under mildt sure forhold (pH5), og har blitt funnet å virke hemmende på soppvekst. Tallolje er et biprodukt fra celluloseproduksjon ved sulfatprosessen fra furuved. Den kjemiske sammensetningen varierer med treets alder, art, geografisk lokalisering og behandling før og under celluloseproduksjonen. Tallolje er med på å øke holdbarheten. En av årsakene er trolig at den begrenser vannopptak.

4.2.1 NATURLIG HOLDBARHET

Den naturlige holdbarheten til et treslag er viktig når man skal tenke trebeskyttelse og bruk av trebeskyttelsesmidler. I henhold til den europeiske standarden EN 350-1 er naturlig holdbarhet "den iboende motstanden til tre mot angrep av vednedbrytende organismer". Ulike treslag har ulik motstand mot ulike trededbrytende organismer. Både kjemiske virkestoffer og faktorer som er med på å redusere sorpsjon, vil influere på den naturlige holdbarheten. Kjerneved har ofte høyere andel bioaktive komponenter. I de nordiske landene er det en tradisjon for bruk av tre (hovedsakelig bartrær) som konstruksjonsmateriale, selv om den naturlige holdbarheten generelt ikke regnes som spesielt god. I det siste har det vært et økende fokus på bruk av ubehandlet tre og alternative treslag. Dette skyldes både interesse fra arkitekter og potensial for å utnytte naturlig holdbarhet som et alternativ til trebeskyttelsesmidler. Dokumentasjon av holdbarhet er derimot nødvendig, og dette mangler vi fortsatt kunnskap om for en rekke av de norske treslagene. Skog og landskap har et prosjekt sammen med NTI hvor vi tester holdbarheten til norske løv- og bartreslag i laboratoriet, i jordkontakt og over bakken. Manglende erfaring med bruk av ubehandlet tre i og ved nye bygningsteknikker kan være en utfordring. Mangel på kunnskap og erfaring kan føre til feil bruk, som igjen kan føre til et ufortjent dårlig rykte for valg av tre.



Figur 4. Norske løv- og bartrær i over bakke testing på Fana ved Bergen, et samarbeidsprosjekt mellom Skog og landskap og NTI. Vi ser at etter ett års eksponering er mange av fargeforskjellene mellom treslagene borte. Foto: Per Otto Flæte.

Vi har også noen utfordringer når det gjelder naturlig holdbarhet. Det er nå svært populært med ubehandlet kledning. Dette medfører et potensial for mye råteskader om ikke den konstruktive beskyttelsen ivaretas nøye. Naturlig aldring kan skje kontrollert eller ukontrollert. Man får ikke gammel stabburpatina etter 5 år. Det man høyst sannsynlig får, er skjolder og fargeforskjeller på grunn av svertesopp. Dette vil jevne seg ut etter hvert. Kunnskap om gamle byggetradisjoner er viktig å ta vare på. Det vil med stor sannsynlighet dukke opp stadig flere klager på lafta hus som ikke oppfyller forventningene. De sprekker opp, og dimensjonene på tømmeret er ikke alltid gunstig. Gode lafta hus krever godt håndverk. Det er også viktig å huske på den store forskjellen mellom furu kjerneved og furu yteved. Kjerneved er relativt holdbar, yteved råtner fort ved tilføring av fuktighet. Gran råtner fort når den blir brukt i jordkontakt, men gran kan med hell brukes i kledning. Grana har den egenskapen at poreåpninger som lukkes etter tørking, gjør vannopptaket mye lavere. Tettvokst gran er testet på Skog og landskap. Det ble ikke funnet noen stor effekt på råteresistens i laboratorieforsøk, men en klar effekt med mindre fuktoptak med smalere årringbredde (Flæte og Alfredsen 2004). Mindre fuktoptak minsker risikoen for råteangrep.

4.2.2 KONSTRUKTIV BESKYTTELSE

Konstruktiv trebeskyttelse er essensielt ved bruk av tre i utendørs konstruksjoner. Riktig konstruksjon og utførelse er den beste beskyttelsen mot råteangrep. Man må ved utendørs bruk forutsette at vann og fuktighet kan komme inn i konstruksjonen. Derfor må man utforme byggedetaljer på en slik måte at vann og fuktighet kan komme ut, slik at treet tørker opp etter oppfukting. Det er viktig å unngå vannfeller i konstruksjonen, hvor vann samler seg og ikke kommer ut, eller gis mulighet til å tørke opp. Følgende råd for konstruktiv beskyttelse er gitt av MoelvenWood (2005):

- Utformingen må være slik at vi unngår vannfeller og kapillær oppsuging i endeveden.
- Forutsett at vann kan trenge inn, og utform detaljene slik at vann dreneres, og trevirket får anledning til å tørke ut.
- Oppfukting er ikke farlig, dersom fukten får tørke ut.
- Endeved bør beskyttes spesielt.
- Bygg oversiktlige konstruksjoner slik at lekkasjer oppdages.
- Avstand fra mark er viktig for å hindre at kledningens nederste del står fuktig store deler av året.

- Endekapping av kledning er alltid en diskusjonssak. Det viktigste er at endene har fått en overflatebehandling slik at trecellene er lukket. Er de ikke det, vil vann suges opp. Behandling av endene er derfor meget viktig for å oppnå lang levetid på kledningen.

4.2.3 OVERFLATEBEHANDLING

Overflatebehandlet tre er tradisjonelt et fortrukket materiale i husfasader, rekkverk og gjerder. Økt konkurranse fra andre materialer som krever mindre arbeid på byggeplassen og mindre vedlikehold gjør det essensielt å videreutvikle overflatebehandlet tre som et konkurransedyktig produkt. Treverk benyttet i risikoklasse 1-3 (utendørs og over bakke) er ofte overflatebehandlet med ett eller flere produkter. Det er i risikoklasse 3 (kledning/fasader, terrasser mv.) at man har ekstra utfordringer med tanke på kvaliteten til en overflatebehandling. En god overflatebehandling skal i prinsippet oppfylle følgende funksjoner:

- Beskytte kledningsbordene mot råtesoppkader, svertesoppkader og nedbrytning fra UV-lys.
- Gi et pent utseende (glans og fargestabilitet).
- Gi lange vedlikeholdsintervaller.
- Utjevne fuktvariasjonene i kledningsbordene.

Både oljetynnede og vanntynnede overflatebehandlingssystemer blir benyttet i dag. De ulike typene av overflatebehandling systematiserer man gjerne slik:

- Oljetynnbar overflatebehandling
 - oljemaling/dekkbeis/beis
 - linoljemaling
 - tretjære
- Vanntynnbar overflatebehandling
 - akryl dekkbeis/maling
 - hybridmaling (akryl/alkyd)
 - slammaling (f. eks. Falurød)

For 10-20 år siden var råtesoppkader i kledningsbord i trefasader et alvorlig og relativt omfattende problem. De vanntynnbare akrylmalingene av mindre god kvalitet var i hovedsak årsaken til dette. Pr. i dag er råtesoppkader et minimalt problem i trefasader, siden man bl.a. har fått gode grunningsprodukter med effektive fungicider. Svertesoppvekst på overflaten av utvendig kledning er nå et langt mer alvorlig problem, og har stor utbredelse. Malingsindustri, treindustri og ulike forskningsmiljøer har de senere år gått sammen om å belyse denne problemstillingen. På den måten ønsker man å utvikle trefasader med forbedret holdbarhet og samtidig sikre at tre også i fremtiden er det naturlige valget når fasademateriale skal velges.

Jevnlig rengjøring er foreløpig det mest effektive tiltaket for å holde svertesoppveksten på malte flater på et minimum. Spesielt er dette viktig før man går i gang med en overmaling. Når man velger å oppføre bygg med trefasader, er det viktig å velge et stabilt treunderlag, og deretter bevisst tenke systembehandling når overflatebehandlingen iverksettes. *Systembehandling* vil si at man bygger opp en film med grunning, mellomstrøk og toppstrøk. Grunningen inneholder fungicider, og skal dermed beskytte mot sopp. Mellomstrøket er sjiktet som skal beskytte, stabilisere og gi et godt grunnlag for neste sjikt. Toppstrøket er et rent slitesjikt eller offersjikt.

4.2.4 IMPREGNERING

CCA fungerte godt som et "universalmiddel". Det kunne brukes, i ulike konsentrasjoner, i de fleste utendørs konstruksjoner. 10. september 2001 ble "Forskrift om forbud mot bruk av CCA-impregnering trevirke" vedtatt i Norge. Denne forskriften forbyr import, eksport, bruk og gjenbruk av treprodukter som er impregnering med krom og arsen fra 1. oktober 2002. Forbudet gjelder ikke trevirke brukt i næringsvirksomhet hvor det av hensyn til sikkerheten er nødvendig med god beskyttelse mot råte. Med samme produksjon av CCA-impregnerte stolper som i 1998, vil det årlige forbruket av CCA-impregneringsmiddel bli redusert med 93 %. Mengden arsen i norske produkter faller derved med 76 % fra 155 tonn til 37 tonn i året. Forbruket av kobber øker derimot, fordi de fleste alternative midlene er basert på kobber. Et virke som er impregnering med slike midler, inneholder mer kobber enn virke i samme bruksklasse impregnering med CCA. Kobbermidlene er noe dårligere fiksert til trevirket enn CCA, slik at utvaskingen kan bli større. Dersom en legger til grunn en fordobling av kobbermengden i impregneringsmidlene, øker mengden kobber i produkter som selges i Norge med 5 %. Kobber er vesentlig mindre giftig enn arsen. Totalt sett er derfor kobberimpregnering en vesentlig bedre løsning enn arsenimpregnering (www.sft.no).

Fra 01.01.2003 ble kreosot og CCA-impregnering treavfall definert som farlig avfall. Mye av CCA-avfallet, i hvert fall fra privat bruk, håndteres trolig feil, og mye brennes. Dette er svært uheldig, for når arsen brennes, dannes arsenikk. Brenning medfører derfor utslipp av arsenikk med røykgassene. De giftige stoffene akkumuleres i asken. Det er viktig å huske at det ikke er impregneringsprosessen som er ilagt restriksjoner, det er kjemikaliene krom og arsen som er forbudt å impregnering inn i tre. "Avfall av Cu-impregnering trevirke og annet behandlet trevirke (malt, beiset, etc.) som ikke er klassifisert som farlig avfall, kan i dag forbrennes i konvensjonelle avfallsforbrenningsanlegg. Det kan være svært vanskelig å visuelt skille de ulike typene treavfall fra hverandre, spesielt Cu-impregnering fra CCA-impregnering. Det finnes tilgjengelig enkle, håndholdte analyseinstrumenter beregnet for feltbruk, men disse er foreløpig veldig kostbare" (www.sft.no).

Det kan være nyttig å tenke mer på nisjeprodukter fremover. CCA var "universelt". I fremtiden vil man måtte tenke mer på risikoklassen ved bruk av tre utendørs, og deretter velge det best egnede trebeskyttelsesmiddelet. Noen produkter endrer f. eks. styrken, og disse kan være optimale i visse sammenhenger, og totalt ubrukelige i andre sammenhenger. Kunnskap og informasjon vil bli viktigere fremover. Man kommer mest sannsynlig aldri til å finne et nytt middel som CCA. Mye av utendørskonstruksjoner byttes ut på grunn av estetiske hensyn og trender, ikke fordi de er nedbrutt eller har mistet evnen til å utføre tiltenkt funksjon. På markedet i Norge er det flere alternativer tilgjengelig:

- Kobberorganiske forbindelser. Det eneste alternativ godkjent for jordkontakt av NTR.
- Metallfrie organiske biocider, overflatebehandlinger (systembehandlinger anbefales for enkelte produkter). Ikke farlig avfall. På vei inn på markedet.
- Modifisert tre.
- Naturlig holdbare treslag.

4.2.5 MODIFISERING AV TRE

Det har blitt jobbet med modifisering av tre de siste 50 årene, men det har vært en sterk vekst de siste årene. En bred definisjon av modifisering av tre (Hill 2005) er en prosess som endrer og bedrer egenskapene til tre uten bruk av gift. Det kan være en biologisk, kjemisk eller fysisk endring av materialegenskapene med mål om å forbedre virkesegenskapene og forlenge levetiden. Det modifiserte trevirket skal:

- ikke være giftig eller skille ut giftige stoffer ved bruk
- ikke frigi giftige stoffer som avfall eller ved resirkulering
- virkemåten skal være ikke-toksisk

Generelle virkemåter for modifisert tre kan være at:

- OH-gruppe byttes ut, slik at spesifikke enzymer utskilt fra sopp ikke gjenkjenner substratet
- Fysisk blokkering
- Senking av likevektsfuktigheten

En bedre definisjon av modifisering er basert på virkemåte (Hill 2005):

- Aktiv modifisering: resulterer i endring av kjemiske egenskaper i materialet
- Passiv modifisering: endringer i egenskaper er en effekt, men uten endringer i materialets kjemi

Tabell 2. Inndeling av ulike typer tremodifisering (fra Hill 2005)

	Type	Klasse
Aktiv	Kjemisk	Cellevegg
		Overflate
	Termisk	Cellevegg
Passiv	Impregnering	Fyller cellevegg
		Fyller lumen

4.2.5.1 Kjemisk modifisering

Definisjon: Reaksjon mellom en kjemisk reagens og vedpolymerer, og dannelse av en kovalent binding.

Reaksjon mellom reagens og OH-gruppe som kan endre egenskapene til trevirket. Det kan dannes en enkel kjemisk binding eller kryssbinding mellom to eller flere OH-grupper.

Eksempler på kjemisk modifisering: eddiksyreanhydrid – acetylering, karboksylsyre, syreklorid, isocyanat, epoxid, alkylhalid, aldehyd, cyanoetylering og beta-propiolactone, furfurylering og DMHDEU.

Eksempler:

Acetylering: Eddiksyreanhydrid og OH-grupper i ved danner kovalent bundne acetylgrupper + eddiksyre som biprodukt. Valg av metode er viktig for hvordan acetylering påvirker de kjemiske, fysiske og mekaniske egenskapene i ved:

- reaksjonstid og temperatur
- opprinnelig fuktighet
- mulig rest av eddiksyreanhydrid i ved
- type katalysator

Prosessen blir kommersialisert av Titan Wood i Nederland under produktnavnet Accoya.

Fordeler

- økt motstand mot sopp og insekter
- kan fungere bra i jordkontakt
- stabiliserende effekt med hensyn til UV og væraldring
- økt vekt
- økt hardhet
- ingen endring i styrke og utseende

Ulemper

- ingen kommersiell produksjon
- kostbart
- gråner over tid + mye svartesoppvekst

Furfurylering:

Modifisering av tre basert på furfurylalkohol gir en forbedring i en rekke av trevirkets viktige egenskaper, som for eksempel motstand mot nedbrytning forårsaket av sopp og insekter, økt hardhet, forbedret dimensjonsstabilitet og økt bøyefasthet. Furfurylering av tre utføres i en to-trinnsprosess som involverer 1) impregnering med en vandig løsning av furfurylalkohol og katalysatorer, og 2) polymerisering av furfurylalkohol ved oppvarming. I hvilken grad trevirkets egenskaper forbedres i denne prosessen, avhenger av hvor stor vektøkningen i materialet (WPG) er etter prosessen (Lande et al. 2004).

Proessen blir kommersialisert av Kebony ASA i Norge under produktnavnene Visorwood (basert på furu) og Kebony (basert på løvtré).

Fordeler

- økt motstand mot sopp og insekter
- kan fungere bra i jordkontakt
- fungerer bra i marint miljø
- økt vekt
- økt hardhet

Ulemper

- kostbart
- gråner over tid
- redusert slagbruddfasthet

DMHDEU:

Dimethylol-dihydroxyethyleneurea er et produkt fra tekstilindustrien som har vist seg å kunne brukes som tremodifiseringsmiddel. Også her utføres prosessen i to trinn hvor trevirke blir impregnert med en væske med et påfølgende oppvarmingstrinn som kryssbinder kjemikaliet, samt forbinder det med OH-gruppene i cellestrukturen. Dette medfører en meget god dimensjonsstabilitet.

Proessen blir kommersialisert av BASF i Tyskland under produktnavnet Belmadur.

Fordeler

- økt motstand mot sopp og insekter
- økt vekt
- økt hardhet
- økt dimensjonsstabilitet

Ulemper

- kostbart
- gråner over tid
- har problemer med høye formaldehydverdier
- redusert slagbruddfasthet

4.2.5.2 Termisk modifisering (varmebehandling)

Definisjon: Bruk av varme på trematerialer for å skape en ønsket forbedring i materialenes ytelse.

Basert på begrenset termisk spalting av aktive grupper i vedstrukturen som frigjøres som VOC (volatile organic compounds) eller fanges i strukturen og repolymeriserer. Gir delvis pyrolyse av trevirkets kjemiske komponenter med økende temperatur. Ulik effekt mellom ulike arter, den mest åpenbare forskjellen er mellom bar- og løvtrær hvor man får høyere massetap for løvtrær enn bartrær. Økende temperatur gir endringer i makromolekylær sammensetning som gir mer vektapp og fargeendringer. Over 180 °C får man generelt store tap, men det er også avhengig av type prosess. Hemicellulose tap fører til økt krystallinitet i veden og endringer i struktur. Cellulose brytes ned først ved høye temperaturer, men trolig små endringer også ved lavere temperaturer. Tap av

polysakkarider leder til økning i lignininnhold. Lignin tåler varme godt, men får også her mindre endringer selv ved lave temperaturer. Ekstraktiver: ved 100-160 °C vandring av fett og voks i aksialt parenkym mot overflaten. Over 180 °C forsvinner fett og voks fra overflaten. Harpiks kan holde seg i kjernen mellom 100-180 °C, men blir borte over 200 °C. Lagring i overflaten kan føre til lommer som må høvles bort.

Det finnes en rekke prosesser og selskaper involvert i termisk modifisering. ThermoWood (Stora, Finnforest, Finland), Plato (PLATO BV, Nederland), Retification (New Option Wood, Frankrike)

La Bois perdure (BCI-MBS, Frankrike) og Oil Heat Treatment (Menz Holz, Tyskland).

ThermoWood har kommet lengst i kommersialiseringsprosessen. Et fellestrekk er behandling av sagd tømmer ved høy temperatur mellom 160 °C and 260 °C. Hovedforskjellene ligger i prosessforhold som:

- tid og temperatur
- behandlingsatmosfære
- lukket eller åpent system
- treslag
- vått eller tørt system
- prøvedimensjon
- bruk av katalysator

Fordeler:

- Økt motstandsdyktighet mot mikrobiologisk angrep, men kun over bakke
- Dimensjonsstabil
- Mindre hygroskopisk
- Teoretisk en enklere prosess enn kjemisk modifisering
- Lavere kostnad ved produksjon av anlegget
- Litt lavere utsalgspris enn noen av de andre modifiseringene

Ulemper:

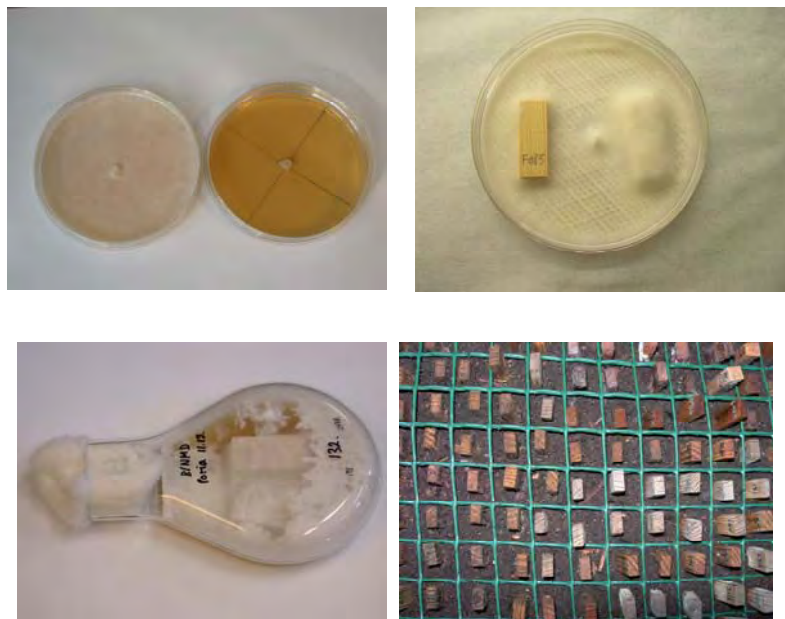
- Reduserte fysiske egenskaper
- Luktproblemer
- Vekttap

4.2.5.3 Impregneringsmodifisering/passiv modifisering

Passiv modifisering er en form for impregnering. Forskjellen her er at man impregnerer med en monomer som blir polymerisert *in-situ*, det vil si at det ikke oppstår noen kjemiske forbindelser mellom trestrukturen og det aktive stoffet, men stoffet blir mekanisk fiksert i trestrukturen. Eksempler på dette er uorganisk silanimpregnering og impregnering med monomerer og polymerer (for eksempel kitosan).

4.2.6 TESTMETODER FOR TREBESKYTTELSESYSTEMER

Biologisk testing av nye trebeskyttelsesmidler kan grovt deles inn i to faser. Først gjøres laboratorieforsøk hvor man tester om middelet fungerer mot sopp, og mot hvilke typer sopp og i hvilke konsentrasjoner. Deretter testes det om det fortsatt fungerer når det er impregnert i ved, og eventuelt i hvilke konsentrasjoner. Eksempler på laboratorietestmetoder er vist i Figur 5.



Figur 5. Ulike labtestmetoder. Radialvekst, miniblokk, EN 113 og ENV 807. Foto: Sigrun Kolstad.

Neste trinn i testingen er utendørs testing. Dette er en mer tidkrevende prosess. I jordkontakt er det generelt konstant tilgang på fuktighet. Dette er NTR impregnerings klasse A (f.eks lednings- og gjerdestolper). I tropiske områder kan trevirke i jordkontakt råtne bort etter noen måneder (ofte som følge av termitter). I Norge går dette mye saktere. Over bakke testing gjøres for NTR impregneringsklasse AB for bruk over bakken, (for eksempel kledning, terrassebord o.l.) og for NTR klasse B for bruk over bakken (for eksempel vinduer og utvendige dører).

Dagens testmetodikk har potensial for forbedringer. De tester som er tilgjengelige, kan generelt sies å være laget for testing av gamle systemer som for eksempel CCA. Dette gjelder spesielt de europeiske standardene for laboratorietesting. Nye trebeskyttelsesmidler har andre virkemåter enn CCA, og i laboratorietester vil effekten ofte over- eller underestimeres. Også når det gjelder felttesting, er det rom for forbedringer. De europeiske standardene over bakke er ikke raske nok for nordiske forhold, og nye metoder, som double layer (Rapp og Augusta 2004) og blokk test (Militz 2004), er på gang. Evalueringen av felttestene bør også forbedres. Nye metoder for ikke-destruktiv testing av tidlig nedbrytning bør blant annet vurderes. Ulike felttestmetoder er vist i Figur 6.



Figur 6. Ulike felttestmetoder. Lap-joint, double layer, EN 252 og blocktest. Foto: Gry Alfredsen.

4.3 Videre forskning

4.3.1 IGANGSATTE PROSJEKTER

Noen av de større igangsatte prosjektene er:

Functional genomics of wood degradation: strategies used by decay fungi against wood protection systems and natural host defence compounds - Strategisk Instituttprogram ved Skog og landskap – NFR, 4-årig.

Utvikling og videreutvikling av miljøvennlige trebeskyttelsessystemer og –produkter - Skog og landskap, 3 år.

WOODEXTER – Service life and performance of exterior wood above ground - WoodWisdomNet prosjekt, 3-årig, Skog og landskap deltar sammen med 8 andre europeiske land.

WinFur - Use of furfurylated wood for the production of high performance windows made of European timber - WoodWisdomNet prosjekt, 3-årig. Skog og landskap deltar sammen med Sverige og Tyskland.

Enhanced service life of coated wooden facades – 4-årig Treforsk samarbeid. KMB støttet av NFR.

Svertesopp på overflatebehandlet tre – Dr. grads studie, Lone Ross Gobakken, NFR finansiert.

Svertesopp på trefasader – 4-årig samarbeidsprosjekt mellom Mycoteam AS og Treteknisk med finansiering NFR.

Miljøvennlig engangsbehandling av kledning - Treteknisk og Innovasjon Norge, 5-årig prosjekt.

Modifisering av furu med mikrobølger. Skog og landskap, Innovasjon Norge.

4.3.2 FORSLAG TIL NYE PROSJEKTER

Nye trebeskyttelsesytemer

- Arbeide for å øke levetiden for treprodukter slik at CO₂ bindes i trevirke så lenge som mulig.
- Det er viktig å få på plass bedre grunnlag for estimering av levetid på treprodukter under norske klimaforhold. Dette er viktig som bidrag til EPD-arbeidet og for å gi kunden et realistisk anslag på produkters levetid ved ulike bruksområder.
- For å kunne gi best mulig estimat på levetiden til treprodukter og trekonstruksjoner må man forske mer på hvordan dette kan korreleres best mulig med erfaringer fra lab- og felttesting.
- Arbeide med å forbedre eksisterende- og utvikle nye teknikker, prosesser og kvalitetssikrings-systemer for modifisering og impregnering av tre.
- Videreutvikle laboratorietestmetoder og felttestmetoder for nye beskyttelsesmidler.
 - o Utvikle metoder for tidlig detektering og kvantifisering av råte.
 - o Ta i bruk nye metoder for detaljstudier av behandlings- og nedbrytningsprosesser.
- Se på muligheter for nye evalueringsmetoder for testing av trebeskyttelsessystemer både i felt og lab.
- Case-studier av nye trebeskyttelsessystemer.

Naturlig holdbarhet

- Se på muligheter for å optimere virkesegenskaper for bruk til utvendig kledning.
- Optimere uttak av materiale med høy naturlig holdbarhet eller høy impregnerbarhet.
- Ny arkitektonisk bruk av tre setter store krav til trevirkets holdbarhet. Det er viktig at bransjen og fagmiljøene sammen ser på utfordringer og muligheter for løsninger som kan gi god holdbarhet i utsatte konstruksjoner.
- Se på bruk av lite holdbare norske treslag i bygg – holdbarhet, estetikk og levetid.

Avfallshåndtering

- Avfallsproblematikk med CCA- og kobber-impregnert virke, muligheter og utfordringer.
- Se nærmere på fremtidig avfallshåndtering av nye trebeskyttelsessystemer ved riving, blant annet energiutbytte og eventuelle utslipp.

5 REFERANSER

- Adalberth, K (1997a): Energy use during the life cycle of buildings: A method. *Building and Environment* 32(4): 317-320.
- Adalberth, K (1997b): Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples. *Building and Environment* 32(4): 321-329.
- Adalberth, K (2000a): Energy use and environmental impact of new residential buildings. Department of Building Physics, LTH. Lund, LTH. PhD avhandling. 50 s. + artikler
- Adalberth, K (2000b): Energy use in four multi-family houses during their life cycle. Manus i PhD avhandling (Adalberth 2000): 22 s.
- Adalberth, K, Almgren, A (2000): Predicting energy use for multi-family buildings in an early design phase. Manus i PhD avhandling (Adalberth 2000): 14 s.
- Adalberth, K, Almgren, A, Holleris Petersen, E (2000): Life cycle assesment of four multi-family buildings. Manus i PhD avhandling (Adalberth 2000): 21 s.
- Aldentun, Y (1999a). Livscykelinventering av fyra plantskolar. Resultat, Skogforsk: 4 s.
- Aldentun, Y (1999b): Miljöpåverkan från vaggan till graven – om livscykelanalys, LCA, och livscykelinventering, LCI. Skogforsk, Resultat 3(1999): 4 s.
- Aldentun, Y (2002): Life cycle inventory of forest seedling production - from seed to regeneration site. *Journal Of Cleaner Production* 10(1): 47-55.
- Alfredsen, G, Solheim, H, Jenssen, K M (2005): Evaluation of decay fungi in Norwegian buildings. The International Research Group on Wood Protection IRG/WP 05-10562: 12 s.
- Anonymous (1997-2001). COST Action E9 Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products.
- Baumann, H, Tillman, A-M (2004): The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund : Studentlitteratur, 543 s.
- Berg, S, Lindholm, E-L (2000): Skogsbrukets energianvändning från beståndsanläggning till industrigrind. Skogforsk, Resultat 4(2000): 4 s.
- Berg, S, Lindholm, E-L (2005): Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *Journal Of Cleaner Production* 13(1): 33-42.
- Berge, B, Stoknes, S (2004): Mot en klimanøytral byggebransje? *Arkitektnytt* 8
- Björklund, T, Jönsson, Å, Tillman, A-M (1996): LCA of building frame structures - Environmental impact over the life cycle of concrete and steel frames. Technical Environmental Planning, now: Environmental System Analysis. Göteborg, CTH. 1996:8. 151 + appendiks.
- Björklund, T, Tillman, A-M (1997): LCA of building frame structures - environmental impact over the life cycle of wooden and concrete frames. Technical Environmental Planning, now: Environmental System Analysis. Göteborg, CTH. 156 s.
- Börjesson, P, Gustavsson, L (2000): Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. *Energy Policy* 28(9): 575-588.
- Brischke, C, Bayerbach, R, Rapp, A O (2006): Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. *Wood Material Science and Engineering* (1): 91-107.
- Brunklaus, B, Baumann, H (2002): Vad innebär ett ökat träbyggande i Sverige för miljön? Granskning av jämförande LCA-studier av stombyggnadsmaterial i hus. Esa-rapport. Göteborg, Chalmers Tekniska Högskola. 17 s.
- Covington, W W (1981): Changes in the forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. *Ecology* 62: 41-48.

- Currie, W S (1999): The responsive C and N biogeochemistry of the temperate forest floor. *Trends in Ecology & Evolution* 14: 316-320.
- Currie, W S, Yanai, R D, Piatek, K B, Prescott, C E, Goodale, C L (2002): Processes affecting carbon storage in the forest floor and in downed woody debris. In: Kimble, J M, Heath, L S, Birdsey, R A, Lal, R (ered.) *The Potential of US Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. 135-157.
- Dokka, T H (2003): Passiv klimatisering. Betong med fortrinn som energisparer i bygg. *Betongdagene* 2003.
- Dixon, R K, Brown, S, Houghton, R A, Solomon, A M, Trexler, M C, Wisniewski, J (1994): Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Engberg, P og Eriksson, E (1998): LCA av sliprar - en jamförande livssyklusanalys av betong- och träsliper. *Chalmers Industriteknik, Göteborg, Sverige*. 128 s.
- Engelbertsson, T (1997): Livscykelvärdering av alternative takkonstruksjoner i bandyhall. *Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för byggkonstruksjon*. 63 s. + appendiks.
- Eriksson, E, Gillespie, A R, Gustavsson, L, Langvall, O, Olsson, M, Sathre, R, Stendahl, J (2007): Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Canadian Journal of Forest Research* 37(3): 671-681.
- Erlandsson, M (1991): Miljökonsekvenser av materialval i ledningsstolper, en livscykelanalys. *Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Sverige*. 101 s.
- Erlandsson, M, Mingarini, K, Nilver, K, Ödeen, K (1994): A comparison between three different external walls and possible improvements. *TRITA-BYMA, KTH, Report 1993 (1994)*: 3 s.
- Flower, DJM, Sanjayan, JG (2007): Green house emissions due to concrete manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12(5): 282-288.
- Flæte, P O, Alfredsen, G (2004): Gran som ubehandlet utvendig kledning, *Norsk Institutt for Skogforskning*: 2.
- Forsberg C, Johansson, V (1999): Projekt Vetenskapscentrum Korsvägen - Miljömässig jämförelse mellan limträ och stål i fackverkstak. 1214073-16/4/Miljö-rap001 FB *Engineering AB, Göteborg*.
- Fossdal, S (1995): Energi- og miljøregnskap for bygg. Fremstilling av byggematerialer. Regnskap for boliger og kontorbygg. *Norges Byggeforskningsinstitutt, Oslo*. 162 s.
- Graulich, K (2001): Vom Niedrig-Energihaus zum Niedrig Schadstoffhaus - Integration von Schadstoffbezogenen bilanzierungen in die Ökobilanzen von Wohngebäuden. *Freiburg, Öko-Institut e.V. Diplomarbeit*, 197 s.
- Gustavsson, L, Pingoud, K, Sathre, R (2006): Carbon dioxide balance of wood substitution: Comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 667-691.
- Gustavsson, L, Sathre, R (2006): Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41(7): 940-951.
- Halloran, JW (2007): Carbon-neutral economy with fuel-based hydrogen energy and carbon materials. *Energy Policy* 35(10): 4839-4846.
- Hassan, O A B (2004): Application of value - focused thinking on the environmental selection of wall structures. *Journal Of Environmental Management* 70(2): 181-187.
- Haagenrud, S E (2004): Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler. *Byggdetaljblad 700.307, Byggeforskserien. SINTEF-Byggeforsk*.
- Hill, C (2005): Wood modification. Chemical, thermal and other processes. *Wileys series in renewable resources, John Wiley & Sons*, 239 s.
- Hoen, H F, Trømborg E, Nielsen, A (2007) Klimagasser og bioenergi fra landbruket - kunnskapsstatus og forskningsbehov. Rapport utarbeidet på oppdrag fra: Styret for

forskningsmidler over Jordbruksavtalen, Fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter og Norges forskningsråd. 82 s.

- IISI (2005): Steel statistical yearbook 2005. International iron and steel institute. www.worldsteel.org
- IPCC (2001). Third Assessment Report. Intergovernmental panel on climate change. www.ipcc.ch.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007b): Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report.
- Jarnehamar, A (1998): Jämförande livscykelanalys. Bjälklag och ytterväggar. Träteknik Rapport P 9812095: 31+ appendix.
- Jarnehamar, A, Beyer, G (1998): Livscykelanalys av bjälklag och ytterväggar samt pallar. Institut för Träteknisk Forskning, Träteknik, Stockholm, Sverige.
- Johnson, D W, Curtis, P S (2001): Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140: 227-238.
- Jungmeier, G, McDarby, F, Evald, A, Hohenthal, C, Petersen, A K, Schwaiger, H P, Zimmer, B (2003): Energy aspects in LCA of forest products - Guidelines from Cost Action E9. *International Journal Of Life Cycle Assessment* 8(2): 99-105.
- Jungmeier, G, Werner, F, Jarnehamar, A, Hohenthal, C, Richter, K (2002a): Allocation in LCA of wood-based products - Experiences of Cost Action E9 Part I. Methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment* 7(5): 290-294.
- Jungmeier, G, Werner, F, Jarnehamar, A, Hohenthal, C, Richter, K (2002b): Allocation in LCA of wood-based products - Experiences of Cost Action E9 - part II. Examples. *International Journal of Life Cycle Assessment* 7(6): 369-375.
- Junnila, S (2004): The Environmental Impact of an Office Building throughout its Life Cycle. Helsinki University of Technology, Construction Economics and Management. Helsinki. PhD avhandling, 52 s. + artikler
- Jönsson, Å, Tillman, A-M, Svensson, T (1995): Life-cycle assessment of flooring materials. A comparison of linoleum, vinyl flooring and solid-pine flooring. Report A5. Swedish Council for Building Research, Stockholm. 110 + appendix.
- Jönsson, Å, Tillman, A-M, Svensson, T (1997): Life cycle assessment of flooring materials: Case study. *Building and Environment* 32(3): 245.
- Kaipainen, T, Liski, J, Pussinen, A, Karjalainen, T (2004): Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests. *Environmental Science & Policy* 7: 205-219.
- Kolari, P, Pumpanen, J, Rannik, Ü, Ilvesniemi, H, Hari, P, Berninger, F (2004): Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland. *Global Change Biology* 10: 1106-1119.
- Kristensen, T (1999): LIFE-SYS WOOD. LCA of warehouse frame. Paper LCA of product no. 2. Norwegian Institute of Wood Technology. 37 s.
- Krogh, H, Baadsgaard-Jensen, J, Abilgaard, A, Riberholt, H (1998): Miljøvurdering af fleretages træhuse. Dansk Teknologisk Institut, Træteknik. Taastrup, Danmark.
- Lande, S, Eikenes, M, Westin, M (2004): Chemistry and ecotoxicology of furfurylated wood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(Suppl 5): 14-21.
- Langerud, B, Størdal S, Wiig, H, Ørbeck, M, (2007): Bioenergi i Norge – potensialer, markeder og virkemidler (2007) ØF-rapport nr. 17/2007: 198 s.
- Larsson, J Y, Hysten, G (2007): Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2000-2004. *Viten fra Skog og landskap* 1/07: 91.

- Leightley, L (2003): Protection of wood using combinations of biocides. Wood deterioration and preservation. Advances in our changing world. B. Goodell, D. D. Nicholas and T. P. Schultz. Washington DC, American Chemical Society: 390-398.
- Liski, J, Pussinen, A, Pingoud, K, Mäkipää, R, Karjalainen, T (2001): Which rotation length is favourable to carbon sequestration? Canadian Journal of Forest Research 31: 2004-2013.
- Lenzen, M, Treloar, G (2002): Embodied energy in buildings: wood versus concrete - reply to Börjesson and Gustavsson. Energy Policy 30(3): 249-255.
- Lindholm, E-L, Berg, S (2001): Från planta till plank – en livscykelnsyn på svenskt skogsbruk. Resultat, Skogforsk: 4 s.
- Lindholm, E-L, Berg, S (2005): Energy requirement and environmental impact in timber transport. Scandinavian Journal of Forest Research 20(2): 184-191.
- Löfgren, B, Berg, S (2003): Syntetisk bränsle från skogsråvara - ett miljövänligt alternativ till diesel. Resultat från Skogforsk 15(2003): 4 s.
- Martikainen, PJ, Aarnio, T, Taavitsainen, V-M, Päivinen, L, Salonen, K (1989): Mineralisation of carbon and nitrogen in soil samples taken from three fertilized pine stands: long-term effects. Plant and Soil 114: 99-106.
- Militz, H (2004): Block test. How it has been performed in the Institute of Wood Biology and Wood Technology Göttingen. Göttingen, Institute of Wood Biology and Wood Technology: 2 s.
- MoelvenWood (2005): Trebeskyttelse. Temahefte 2. Moelven Wood/Optimera Proff. 52 s.
- Mørkved, K, Opdal, T (1990): Energiressurs - regnskap for trevirke som bygningsmateriale. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo, Norge.
- Norén, J, Jarnehammar, A (1999): LCA av träfönster och trä-aluminiumfönster. Träteknik, Rapport P 9912055: 32 s + appendiks.
- Norén, J, Jarnehammar, A (2001): Miljöbedömning av Trähus 2001 - bakgrundsfakta. Träteknik, Rapport P 0105010. Stockholm, Träteknik: 37 s.
- Norén, J, Jarnehammar, A (2002): Environmental assessment of buildings - State of the art. Timber buildings. Träteknik Rapport, SP Träteknik. 16 s.
- Nohrstedt, OH, Arebrant, K, Bååth, E, Söderström, B (1989): Changes in carbon content, respiration rate, ATP content, and microbial biomass in nitrogen-fertilized pine forest soils in Sweden. Canadian Journal of Forest Research 19: 323-328.
- NS-EN 350 (1994) Tre og trebaserte produkters holdbarhet. Holdbarhet av heltre. Del 1: Prinsipper ved prøving og klassifisering av den naturlige holdbarheten av tre. Del 2: Holdbarhet og impregnerbarhet av utvalgte tresorter av betydning i Europa. Norges Standardiseringsforbund.
- Nordic Wood (1999) Miljødeklarasjon av treindustriens produkter. Hovedrapport. Norsk Treteknisk Institutt, Rapport 37.
- NOU (2006). Et klimavennlig Norge. Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 11. mars 2005. Avgitt til Miljøverndepartementet 4. oktober 2006. Miljøverndepartementet, NOU (2006:18): 119 s + vedlegg
- NS-ISO 14025 (2006): Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures (ISO 14025:2006), 36 s.
- NS-EN ISO 14040 (2006): Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006), 32 s.
- NS-EN ISO 14044 (2006): Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Krav og retningslinjer (ISO 14044:2006), 60 s.
- OECD/IEA (2000): An initial view on methodologies for emission baselines: Iron and steel case study. www.oecd.org/dataoecd/15/59/2002541.pdf

- OECD (2005): Can transnational sector agreements help reduce greenhouse gas emissions? Round table on sustainable development 2005.
- Orth, A, Anastasijevic, N, Eichberger, H (2007): Low CO₂ emission technologies for iron and steelmaking as well as titania slag production. *Minerals Engineering* 20(9): 845-861.
- Pade, C, Guimaraes, M (2007): The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective. *Cement and concrete research* 37(9): 1348-1356.
- Petersen, A K, Solberg, B (2002a): Energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet ved bruk av gulvbord i heltre eik sammenlignet med fem alternative gulvløsninger. Rapport fra Skogforskningen 2002(2). 72 s.
- Petersen, A K, Solberg, B (2002b): Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: Beams at Gardermoen airport. *Environmental Science & Policy* 5(2): 169-182.
- Petersen, A K, Solberg, B (2002c): Limtre eller stål? En analyse av energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet. Rapport fra skogforskningen 2002(1). 60 s.
- Petersen, A K, Solberg, B (2003): Substitution between floor constructions in wood and natural stone: comparison of energy consumption, greenhouse gas emissions, and costs over the life cycle. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1061-1075.
- Petersen, A K, Solberg, B (2004): Comparison of GHG emissions and costs over the life cycle of flooring materials. *Climatic change* 64: 143-167.
- Petersen, A K, Solberg, B (2005): Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy And Economics* 7(3): 249-259.
- Quack, D (2001): Einfluss von Energistandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden - eine Ökobilanz. Freiburg, Öko-Institut e.V. 209 s. + appendiks.
- Rapp, A O, Augusta, U (2004): The full guideline for the "double layer test method" - A field test method for determining the durability of wood out of ground. The International Research Group of Wood Preservation IRG/WP 04-20290: 24 s.
- Raymer, A K P (2005): Modelling and analysing climate gas impacts of forest management. PhD avhandling. Dep. of Ecology and Natural Resource Management. Ås, Norwegian University of Life Sciences: 18 s. + artikler.
- Raymer, A K P (2006): A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy. *Biomass and Bioenergy* 30(7): 605-617.
- Raymer, A K P, Gobakken, T, Hoen, H F, Solberg, B (2005a): GAYA-J/C: A forest management optimisation model with a complete carbon flow account. Manuskript i doktoravhandling: 18 s.
- Raymer, A K P, Gobakken, T, Hoen, H F, Solberg, B (2005b): Optimal forest management and cost-effectiveness when increasing the carbon benefit from a forest area. A case study of Hedmark County in Norway. Manuskript i doktoravhandling: 23 s.
- Raymer, A K P, Gobakken, T, Solberg, B (2005c): Forest management and carbon benefit. A review of models and their applications. Manuskript i doktoravhandling: 26 s.
- Roseng, L (2003): Miljøstandarder ISO 14000-serien. 7 s.
- Sathre, R. (2007): Life-cycle energy and carbon implications of wood-based products and construction. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Ecotechnology and Environmental Science, Department of Engineering, Physics and Mathematics, Mid Sweden University, Östersund, Sweden.
- Sathre, R, Gustavsson, L (2006): Energy and carbon balances of wood cascade chains. *Resources Conservation And Recycling* 47(4): 332-355.

- Sathre, R, Gustavsson, L (2007): Effects of energy and carbon taxes on building material competitiveness. *Energy And Buildings* 39(4): 488-494.
- Scharai-Rad, M, Welling, J (2002): Environmental and energy balances of wood products and substitutes. *Forst- Holzwirtsch., FAO, Universitetet i Hamburg*. 63 s.
- Schlamadinger, B, Marland, G (1996): The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. *Biomass and Bioenergy* 10(5-6): 275-300.
- Schulze, E-D, Wirth, C, Heimann, M (2000): Climate change: Managing forests after Kyoto. *Science* 22: 2058-2059.
- Schwarze, F W M R, Engels, J, Mattheck, C (2000): *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees*, Springer - Verlag. 185 s.
- Seppala, J, Melanen, M, Jouttijarvi, T, Kauppi, L, Leikola, N (1998): Forest industry and the environment: a life cycle assessment study from Finland. *Resources, Conservation and Recycling* 23(1-2): 87 s.
- SFT – Statens forurensningstilsyn (2007): Reduksjon av klimagasser i Norge. En tiltaksanalyse for 2020. 88 s
- Sivertsen, M S (2002a): Trebeskyttelsens historie del 1. *Norsk Skogbruk* 1. 30-31
- Sivertsen, M S (2002b): Trebeskyttelsens historie, del 2. *Norsk Skogbruk* 2. 32-34
- SOU, (1996): IT och miljön - en samling goda exempel. K. (Sverige), Statsrådberedningen. 178: 106.
- Strömberg, L (2004): Integrated life-cycle design of coatings on exterior wood Part 2: Life-cycle assessment. *Surface Coatings International Part B-Coatings Transactions* 87(3): 211-220
- Sverdrup-Tygeson, A, Framstad, E (2007): Bioenergitiltak og effekter på biomangfold. NINA Rapport 331. 38 s.
- Thormark, C (2000): Including recycling potential in energy use into the life-cycle of buildings. *Building Research And Information* 28(3): 176-183.
- Thormark, C (2002): A low energy building in a life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building And Environment* 37(4): 429-435.
- Thormark, C (2006): The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building And Environment* 41(8): 1019-1026.
- Trusty, W B, Meil, J K (1999): Building lifecycle assessment: Residential case study. *Proceedings: Mainstreaming Green: Sustainable design for buildings and communities*. Chattanooga, TN, oktober 1999.
- Viitanen, H, Ritschkoff, A C (1991): Brown rot decay in wooden constructions: Effect of temperature, humidity and moisture. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products*: 57 s.
- Wang, K, Wang, C, Lu, X, Chen, J (2007): Scenario analysis on CO₂ emissions reduction potential in China's iron and steel industry. *Energy Policy* 35(4): 2320-2335.
- Wessman, H, Hohenthal, C, Kaila, S (2003): LCA methodology and raw material aspect of forest industry. *Paperi Ja Puu-Paper And Timber* 85(4): 184 -186
- Wessman, H E, Alvarado, F, Backlund, B, Berg, S., Hohenthal, C, Kaila, S, Lindholm, E-L (2002): Land use in ecobalance and LCA of forest products. *SCAN-Forsk rapport, STFI*. 26 s. + appendiks.
- Yanai, R D, Currie, W S, Goodale, C L (2003): Soil carbon dynamics after forest harvest: an ecosystem paradigm reconsidered. *Ecosystems* 6: 197-212.
- Ågren, GI, Hyvönen, R (2003): Changes in carbon stores in Swedish forest soils due to increased biomass harvested and increased temperatures analysed with a semi-empirical model. *For. Ecol. Manage.* 174: 25-37.

APPENDIKS 1

Sammendrag av referert litteratur i alfabetisk rekkefølge.

I teksten over refereres kun til tekst i de nevnte artikler. Der det var nødvendig å kommentere, står dette i parentes [].

Adalberth 2000a

- Studieobjekt:** Tre eneboliger og fire flerfamilieboliger bygget i 1990-årene i Sverige
- Mål:** Undersøke energibruk og miljøpåvirkning gjennom livsløpet til nye bolighus, og gi råd om hvordan miljøeffektive hus med liten miljøpåvirkning kan bygges
- Livssyklusfaser:** Produksjon av bygningsmaterialer, transport av bygningsmaterialer og komponenter til byggeplass, byggefase, boligfase, vedlikehold og renovasjon, riving og fjerning av avfall
- Om studien:** Doktorgradsthesis ved Lund Universitet. Boligfasen er satt til 50 år da den økonomiske livslengden i Sverige er rundt 40-50 år. Antatt at det ikke vil bli foretatt utvidelser, ombygging eller signifikante endringer gjennom boligfasen. Bare seksvisielt vedlikehold, som maling og bytte av hvitevarer er tatt med.
- De tre eneboligene er prefabrikkert. Bærekonstruksjonen er av tre, og husene har trekledning. Flerfamilieboligene er ikke like homogene som eneboligene. Bærekonstruksjonen er enten lettbetong kombinert med betong, betong, tre eller betong kombinert med stål. Fundamentet varierer mellom enkelte av byggene, en rekke bygningsdetaljer er oppgitt i arbeidet.
- Hun studerte miljøpåvirkningen til flerfamiliehusene og så på: global oppvarmingspotensial, forsuring, eutrofiering, fotokjemisk ozondannelsepotensial og toksisitet mot mennesker.
- Graden er basert på følgende publiserte artikler og manus:
- Adalberth 1997a: Energy use during the life cycle of buildings: A method.
- Adalberth 1997b: Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples
- Adalberth 2000b: Energy use in four multi-family houses during their life cycle
- Adalberth, Almgren og Holleris Petersen 2000: Life cycle assessment of four multi-family buildings (manus)
- Adalberth og Almgren 2000: Predicting energy use for multi-family buildings in an early design phase (manus)

Resultater:

- Hun konkluderer i sin doktorgradsavhandling blant annet med at:
- Ca. 85 % av total energibruk gjelder bruk av energi i bruksfasen.
 - 70-90 % av miljøbelastningen i et flerfamiliehus livsløp med 50 års levetid kommer i husets bruksfase.
 - Energi brukt til å produsere alle konstruksjonsmaterialer inkludert renovasjonsfasen er estimert til ca. 15 % av det totale energiforbruket.
 - Produksjonen av alle byggematerialene er 10 – 20 % av den totale miljøbelastningen i livsløpet.
 - Resultatene viser at både energibruken og miljøbelastningen har lik fordeling gjennom livsløpet ved at beboelsesfasen teller mest. Energibruken kan derfor ifølge Adalberth brukes som en indikator på en bygnings miljøstatus.
 - Siden boligfasen er svært dominerende, og fordi det var en sammenheng

mellom miljøeffekt og energiforbruk, er det viktig å prosjektere bygninger som er energieffektive i boligfasen og å produsere energi med lave utslipp for å få miljøtilpassede bygninger.

- En tabell sammenligner energibruk ved bærekonstruksjoner av tre og betong. Tre ga totalt 8500 kWh/m², mens betong ga 8600 kWh/m², denne forskjellen er liten eller ubetydelig.

[Målet med dette arbeidet var altså ikke primært å sammenligne materialer, selv om ulike materialer inngikk i de ulike bygningene. Fokus var på energibruk.]

Aldentun 1999a

Studieobjekt: Planteskoler

Mål: Å øke kunnskapen om hvordan skogbruket påvirket miljøet, og å gi skogindustrien grunndata for livssyklusstudier av tre og trebaserte produkter

Funksjonell enhet: 1000 leverte planter – typiske for regionen som de respektive planter ble produsert i.

Livssyklusfaser: Frø til ferdig plante levert i skog

Om studien: Skogforskningspublikasjon. Gir en LCI for fire planteskoler i Sverige. Studien omfattet det materialet og den energien som passerte gjennom planteskolen. Inventeringen var et første skritt i et større arbeid med å beskrive miljøbelastningene fra hele skogbrukskjeden.

- Resultater:**
- Oppvarmingen av veksthusene er den enkeltfaktor som gir størst utslipp av CO₂. Det bør tilstrebes å minske energibruken til oppvarming av veksthus med tekniske forbedringer eller endringer i dyrkingsrutiner. Miljøbelastningen ved å produsere store planter må veies opp mot overlevelse og tilvekst i felt.
 - Plantedistribusjon ga i samtlige planteskoler det nest største utslippet av CO₂. En bedre samordning av planteleveransene er en måte å minske dette utslippet på.
 - Det må jobbes videre med å kartlegge utslipp av gjødsel og insektmiddel, omfanget av lekkasjer er i dag altfor dårlig kjent. Teknikken med gjødsel-spredning må gjennomgås. Utslippet var størst i den sydligste planteskolen, pga. av større planter og mer glisne avlinger.

Totalt utslipp, kg pr. 1000 planter:

	min	max
CO	0,04	0,08
Hydrokarboner	0,05	0,10
NO _x	0,16	0,48
Partikler	0,03	0,06
SO ₂	0,09	0,48
CO ₂	46,71	132,71

Aldentun 1999b

Mål: Beskrivelse av LCA- og LCI-metodikk vinklet mot tre

Om studien: Skogforskningspublikasjon. Gir en innføring i prinsippene bak LCA og LCI som bakgrunn for dette arbeidet innen skog og tre i Sverige. En livssyklusanalyse, LCA, beskriver den samlede miljøpåvirkningen av en virksomhet eller et produkt gjennom hele livstiden, fra vugge til grav. Med LCA gis konsumenter og beslutningstagere et nytt verktøy for å sammenligne miljøeffektene av ulike varer

og tjenester. Livssyklusstudier kan også være et effektivt hjelpemiddel for et foretak til å se hvilken produksjonsteknikk og hvilke materialer som gir den minste totale miljøbelastningen. Skogprodukter kan f.eks. sammenlignes med konkurrerende materialer, som plast, stål og aluminium. Innen skogbruket kan livssyklusstudier brukes til å sammenligne ulike metoder. Eksempelvis; er motormanuell rydding bedre for miljøet enn maskinell rydding? Er virkestransport med tog bedre for miljøet enn lastebiltransport?

Aldentun kommer også inn på at noen ganger er begrepet LCA/LCI litt sammenblandet. I en LCI beregner man hvor mye materiale og energi som trengs for å produsere en vare, og hvor mye utslipp produksjonen resulterer i. Alle produksjonsledd og transporter skal regnes med, f. eks. fra utvinning av olje. I en LCA går man lenger enn i en LCI og beskriver hvilke typer av påvirkning de ulike utslippene kan resultere i. Man kan også gjøre en vurdering av hva de ulike utslippene betyr. Det råder delte meninger om hvor langt og hvordan resultatene i en LCA skal tolkes.

Aldentun 2002

Studieobjekt:	Planteskoler
Mål:	LCI data for frøplanter til skog og forskjeller mellom ulike produksjonsenheter
Funksjonell enhet:	1000 leverte planter – typiske for regionen der de respektive planter ble produsert
Livssyklusfaser:	Frø til ferdig plante levert i skog
Om studien:	Journalartikkel med referee. Studien var en del av et større prosjekt hvor målet var å samle inn LCI-data for treproduksjon i Sverige, fra frø til levering av tømmer på industritomt. Data ble samlet med hensyn til brukt mengde energi og materialer, og utslipp frigitt til atmosfæren som en konsekvens av frøplanteproduksjonen ble kalkulert. Fire moderne, medium store planteskoler, typiske for Sverige, ble evaluert. Stedsspesifikke data med hensyn til energi og råvarer ble brukt i beregningene sammen med tall fra relevante databaser og litteratur. Målet med studien var å gi en full LCI for frøplanteproduksjon ved fire ulike lokaliteter i Sverige, og å sammenligne disse med hensyn til mengde materialer og energi brukt i frøplanteproduksjonen og utslipp av CO ₂ , CO, HC, partikler, NO _x og SO ₂ til luft fra ressursene som ble brukt.
Resultater:	<ul style="list-style-type: none">- Bruk av energi og utslippene som ble dannet, var større pr. frøplante i Syd-Sverige enn nord i landet, siden plantene var større i sør.- Fossilt brensel brukt for å varme opp drivhusene og for transport av frøplantene var den største kilden til utslippene.

Berg og Lindholm 2000

Studieobjekt:	Tømmer fra bestand til sagbruk
Mål:	Energibruk fra skoetablering til industritomt
Funksjonell enhet:	1 m ³ avvirket virke uten bark
Livssyklusfaser:	Hele livssyklus fra etablering av bestand til sagbruk
Om studien:	Skogforskningspublikasjon. LCA. Oversikt over energibruk fra skoetablering til industritomt som et bidrag til å bygge opp en LCI-database for svensk skogbruk. Det er gjort sammenlignende undersøkelser i Syd-, Mellom- og Nord-Sverige. Det er flere forutsetninger som ligger bak tallene, bl.a. er det tatt utgangspunkt i det vanligste maskinsystemet for alt maskinarbeid. I materialet fins det også beregninger av miljøfarlig utslipp fra energibruken.

Resultater:

- Totalt hadde Syd-Sverige det laveste energiforbruket pr. m³ uten bark.
- Når de så på energiforbruket pr. hektar for planting, tynning og markberedning, ble bildet annerledes. Arbeidet med ryddesag og tynning tok mer energi i de sørligste delene enn i nord. Det kommer trolig av at det var flere stammer og vanskeligere terreng. Markberedning viste samme tendens, trolig grunnet vanskeligere terreng i sør. Dessuten er bestandene mindre, og det fører til flere forflytninger.

Energibruk; MJ pr. m³ fub:

	Nord	Mellom	Syd
Skogkultur	16	15	3
Hogst og kjøring	66	65	57
Transport	113	99	77
Totalt	195	178	138

Utslipp; g pr. m³ fub:

	Skogkultur, hogst og kjøring	Videretransport
CO	23	7
Hydrokarboner	5	3,5
Metan	0,41	0,53
Lystgass (N₂O)	0,28	0,27
NO_x	71	59
Partikler	0,06	1,1
Svoveloksider	0,13	0,05
CO₂	5400	6800

- For de undersøkte områdene utgjør videretransporten fra skog til industri det meste av energiforbruket.
- Forbruket var høyere i nord ettersom transportavstanden der er lengre. Med moderne hjelpemiddel for transportplanlegging burde energibruken minske betraktelig.
- Lastfaktoren (Lf) gir et bilde av hva tomme returkjøringer betyr for transportarbeidet. Lf er 50 % når transporten går full en vei og tom i retur. I denne studien bedømmes Lf å være 50 % i Nord- og Mellom-Sverige, og 57 % i sør. Hvis Lf kan økes til 70 %, synker energiforbruket for hele skogbruket med 10-14 %.

Berg og Lindholm 2005**Studieobjekt:** Skogbruksaktiviteter**Mål:** En undersøkelse av energibruk i skogbruksaktiviteter i Sverige i 1996 og 1997**Funksjonell enhet:** 1m³ fub levert til sagbruk**Livssyklusfaser:** Alle operasjoner inkludert planteproduksjon, skogkultur, hogst og transport til skogindustri.**Om studien:** Journalartikkel med referee. LCA. Målet med denne studien var å 1) identifisere de viktigste prosessene med hensyn til tilførsel av energi og produksjon av tømmer og utslipp, det siste forårsaket av energibruk i skogoperasjoner, fra

frøtreproduksjon frem til levering av tømmer til skogindustrien, 2) sammenligne skogbruket i tre deler av Sverige, og påpeke forskjellene mellom skogoperasjonene og 3) skaffe inventeringsdata angående skogproduksjon til skogindustrien for bruk i LCA av skogprodukter og tjenester.

- Resultater:**
- Energibruken i svensk skogbruk var omkring 150-200 MJ/ m³, avhengig av lokaliteten.
 - Undersøkelsen viste mye høyere energibruk ved tømmertransporten enn tidligere antatt.
 - Selv om tømmertransporten står for den største energibruken, står hogst og skogkultur for størst utslipp av noen eksoselementer.
 - Emisjonene var enten drivstoffrelatert (CO₂, SO_x) eller maskinrelatert (hydrokarboner, NO_x). Bruk av gjenvinnbart drivstoff og forbedringer i maskinutforming og bedre justering av maskiner til skogsoperasjoner kan minske disse typene utslipp.
 - Utslipet av gasser som fører til klimaendringer er lite i forhold til de nasjonale utslippene. Likevel er det muligheter for reduksjoner i fremtiden, for eksempel ved å bruke biodrivstoff produsert av tømmer.

Björklund og Tillman 1997

- Studieobjekt:** Fleretasjes bolighus og lagerbygninger. Tre vs. betong
- Mål:** Analysere og vurdere miljøpåvirkningen til bærekonstruksjoner i betong og tre i bygninger gjennom livssyklus ved hjelp av LCA
- Funksjonell enhet:** 1m² gulvareal i tredje etg. av et 6 etg. hus, inkludert gulv, interne vegger og eksterne vegger, 50 år
- Livssyklusfaser:** Råmaterialer til avfallshåndtering
- Om studien:** CTH-rapport. Sammenlignet LCA for bærekonstruksjoner i tre og betong i ulike bolig- og lagerhus. De brukte tre ulike kvantifiseringsmetoder (EPS-metoden, Environmental theme-metoden og Ecoscarcity-metoden.) Studien var en del av et samarbeidsprosjekt innen sementindustrien i Sverige, Norge og Finland (stiftelsen Østfoldforskning, VTT Finland, Chalmers University of Technology (CTH) og Trätek i Sverige). Målsetting var å se på miljømessige forbedringer på sement- og betongprodukter.
- Resultater:**
- De fant ingen store miljømessige forskjeller på de ulike bærekonstruksjonene over livsløpet, forutsatt at rivingsmaterialet blir gjenvunnet som lavverdig materiale i rivingsfasen.
 - Ved å se på produksjonsfasen, ble bærekonstruksjoner av tre generelt gradert noe lavere enn betong i bolighus.
 - Det var ikke mulig å gradere lagerbygningene fordi de ikke var helt sammenlignbare.
 - Ved alle metodene viste det seg at når det gjelder forbruk av energi i livsløpet til bolighus, har bruksfasen størst påvirkning. Deretter kommer produksjonsfasen, mens rivingsfasen har betydelig lavere påvirkning.
 - Parametre som veide tyngst i valideringen var bruk av fossilt brensel, elektrisitet, CO₂, SO_x, NO_x og oppløst organisk og uorganisk materiale, samt avfall.
 - Den største påvirkningen gjennom produksjonsfasen ble oppnådd ved produksjon av råmaterialer.

Brunklaus og Baumann 2002

Brunklaus og Baumann fra Chalmers Tekniske Høyskole har i sin ESA-rapport på oppdrag fra Miljøverndepartementet i Sverige gransket et antall miljøstudier som sammenligner bruk av tre med andre materialer i hus. Dette for å avgjøre hvilken betydning en økning i trebebyggelse i Sverige vil ha for miljøet. Disse sammenlignende studiene er hovedsakelig LCA-studier.

Arbeidene som er vurdert er: Norén og Jarnehammar (2001), Björklund et al. (1996), Björklund og Tillman (1997), Forsberg og Johansson (1999), Adalberth (2000a), Graulich (2001) og Quack (2001).

Resultat:

Brunklaus og Baumann sier i konklusjonen at:

Granskingen av LCA-rapportene har vist ulike svar på om tre er et miljømessig bedre alternativ ved bygging. To LCA-studier (Norén og Jarnehammar 2001, Forsberg og Johansson 1999) viser tydelig at tre er et miljømessig bedre alternativ enn materialer som betong, stål eller tegl, fordi tre 1) er en fornybar ressurs og gir energi ved sluttbehandling og 2) bidrar ikke til økt CO₂-utslipp fordi CO₂ fra forbrenning tas opp av skogen.

Flere mangler kan ifølge Brunklaus og Baumann påpekes med hensyn til ovennevnte studier (Norén og Jarnehammar 2001, Forsberg og Johansson 1999), for eksempel definisjonen av funksjonell enhet, slik at sammenligningene ikke blir helt rettferdige, haltende datavalg og et snevrere utvalg av sammenlignede miljøaspekter. Universitetsstudiene (Björklund et al. 1996, Björklund og Tillman 1997, Adalberth 2000a, Graulich 2001 og Quack 2001) viste seg ifølge Brunklaus og Baumann å være langt mer dekkende og detaljerte. Metodevalget i disse studiene har også vært mer konsistent med hensyn til studienes mål og studieobjekt. Resultatene i disse studiene kan ansees for å være mer robuste.

Universitetsstudiene viser ingen forskjell mellom tre og andre materialer sett over husets levetid. Hvis man bare betrakter oppføring av hus, viser en del av studiene at tre er et noe bedre miljøalternativ, men marginene er ikke store (< 20 %). Miljøpåvirkningen ved oppføring "drukner" likevel i miljøpåvirkningen som følge av bruk av huset (pga. oppvarming og annen energibruk) ifølge universitetsstudiene (Björklund et al. 1996, Björklund og Tillman 1997, Adalberth 2000a, Graulich 2001 og Quack 2001). Quack (2001) viser at selv for lavenergihus (dvs. hus med lavt energiforbruk i bruksfasen) er energibruk ved oppføring en ubetydelig faktor sammenlignet med driftsfasen. Videre, har forekomsten av farlige produkter/kjemikalier i maling, tapeter, sparkel, brannbeskyttelse og lignende i tegl og trehus har vist seg å være mer betydningsfull enn selve konstruksjonsmaterialet (Graulich 2001).

Konklusjon: bare tre kan ses som et bedre miljøalternativ under visse forutsetninger:

5. Argumentet om at tre er en fornybar ressurs, er miljømessig interessant dersom økt trebruk ikke fører til mer CO₂-utslipp, og om skogbruket er bærekraftig.
6. Argumentet om at trevirke gir energi ved sluttbehandlingen, forutsetter at man brenner avfallet med energiutvinning i fremtiden (40-100 år), og at en da ikke har miljøvennligere alternativer.
7. Argumentet om at tre ikke bidrar til økt CO₂-utslipp, må ses i relasjon til karbonbinding i treprodukter og i skogen, samt relativt CO₂-utslipp fra øvrig energiproduksjon.
8. Argumentet om at tre er bedre for helsen, er ikke klarlagt. Tvert imot, valg av produkter med helseskadelig innhold som maling, lim, sparkel o.l. har vist seg å ha stor betydning, og er uavhengig av bygningsmateriale.

Sammendragsvis sier de at om en vil oppnå redusert energibruk og mindre CO₂-utslipp i samband med hus, så er det mye viktigere å gjøre en innsats i bruksfasen (oppvarmingsystem, elektrisitet, varmtvann) enn i materialvalget ved byggingen.

Börjesson og Gustavsson 2000

- Studieobjekt:** 4 etasjes boligblokk, Wälludden i Växjö
- Mål:** Drivhusgassbalansen i bygningskonstruksjon: tre vs. betong fra et livssyklus- og arealbruksperspektiv.
- Funksjonell enhet:** 50 år
- Livssyklusfaser:** Produksjon av bygningsmaterialer fra utvinning av råvarer til resirkulering, ulike alternativer for avfallshåndtering, alternativer for beregning av skogareal brukt til tømmerproduksjon.
- Om studien:** Journalartikkel med referee. Börjesson og Gustavsson så på drivhusgassbalansen i bygningskonstruksjoner: tre vs. betong fra et livssyklus- og arealbruksperspektiv. De så på primær energibruk og utslipp av CO₂ og CH₄ fra byggingen av et fire etasjes bolighus, med bærekonstruksjon i enten tre eller betong. Analysen inkluderer produksjon av bygningsmaterialer, ulike alternativer for avfallsbehandling og alternativer for skogareal brukt til tømmerproduksjon. Ulike alternativer for avfallsbehandling som ble undersøkt: forbrenning der energien erstatter fossilt brensel, 50 % av tre gjenbrukes som bygningsmaterialer og 50 % forbrennes, landfill uten oppsamling av gass og landfill med oppsamling av gass (energi fra gass erstatter fossilt brensel). To ulike alternativer i produksjon av betong: bruk av naturlig singel eller knust singel. Ved bruk av bærekonstruksjon i betong brukes trevirket til energi og erstatter fossilt brensel. CO₂ avgitt i kjemisk prosess i produksjonen av betong antas å binde seg til kalsiumforbindelser i kalk i den herdede betongen i en karboniseringsprosess. Levetid på 50 og 100 år er studert.
- Resultater:**
- Betonggrammer trenger 60-80 % mer energi enn tre i produksjonen av bygningsmaterialer.
 - De sier videre at netto drivhusgassbalanse for trematerialer vil i stor grad avhenge av hvordan tre behandles etter riving av bygningen.
 - Netto drivhusgassbalanse vil være litt positiv hvis alt rivingsvirke av tre brukes til å erstatte fossilt brensel, litt negativ hvis deler av rivingsmaterialet gjenbrukes og klart positiv hvis alt trevirke deponeres på avfalls plass, grunnet produksjon av CH₄. Men hvis biogass samles opp og brukes til å erstatte fossilt brensel, vil netto drivhusgassutslipp være ubetydelige.
 - Hvis betonggrammer brukes, vil drivhusgassutslipp være omtrent likt som når tre deponeres på fyllplass og ingen deponigass samles opp.
 - Beregningene forutsetter at CO₂ avgitt fra kjemiske prosesser i produksjonen av sement vil binde seg igjen til betong ved en karboniserings prosess. Hvis dette ikke skjer, vil netto drivhusgassutslipp ved bruk av sement bli dobbelt så høy.
 - Hvis skogsbiomasse brukes i stedet for fossilt brensel, vil netto skogareal som trengs for å gi råmaterialer og energi til produksjon av bygningsmaterialer være dobbelt så stort for tre som for betong. Men drivhusgassmigrasjonseffektiviteten vil være 2-3 ganger høyere hvis tremrammeverk brukes, forutsatt at overflødig tremateriale og hogstavfall brukes istedenfor fossilt brensel.

- Skogen i bærekonstruksjoner i betong alternativet brukes til å erstatte fossilt brensel. Men hvis denne skogen brukes til å lagre karbon, vil migrasjonseffektiviteten være høyere for første omløpsperiode (100 år), men lavere for de følgende periodene.
- Avslutter med at dataene i analysen er forbundet med usikkerhet, men at å forstå kompleksiteten i å sammenligne ulike alternativer for utnyttning av skog for drivhusgassmigrasjon, og det faktum at tidsaspektet tydelig påvirker resultatene, er viktigere enn nøyaktige tall på inputdata.

Dokka 2003

Studieobjekt:

Kontorrom

Mål:

Simulering av kjøle- og oppvarmingsbehov i kontorrom med ved, henholdsvis tung og lett bygningskropp

Om studien:

Dokka 2003. Passiv klimatisering - Betong med fortrinn som energisparer i bygg. Power Point presentasjon på Betongdagene 2003: I denne presentasjonen vises bl.a. en simulering av kjøle- og oppvarmingsbehov i kontorrom med ved, henholdsvis tung og lett bygningskropp. Forutsetningene er gitt, samt resultater fra simuleringen. Presentasjonen sammenligner tilsvarende kontorer hvor forskjellen ligger i at den lette kontormodulen har lette etasjeskillere i tre, panel i himling og 22 mm sponplate, mens den tunge kontormodulen har etasjeskillere i betong med eksponert betong.

Resultater:

- Den lette kontormodulen viste et høyere årlig oppvarmings- og kjølebehov enn den tunge kontormodulen.

Energi- og effektbehov:

	Lett bygg	Tungt bygg	Reduksjon
Effektbehov	851 W	551 W	35 %
Kjøling	(85 W/m ²)	(55 W/m ²)	
Årlig kjølebehov	67 kWh/m ²	35 kWh/m ²	48 %
Årlig oppvarmingsbehov	90 kWh/m ²	63 kWh/m ²	30 %

- Det konkluderes bl.a. med at energieffektive (naturlig klimatiserte) bygg ikke trenger å være dyrere i investering, er langt rimeligere i drift og har lengre levetid.
- Sats først på robuste passive tiltak som reduserer behovene, bruk deretter energieffektive tekniske installasjoner og avansert styring (behovsstyring).
- Termisk masse, hvis riktig utnyttet, kan føre til bedre termisk komfort, og betydelig lavere energibruk og energikostnader.
- Det kan også redusere eller eliminere kjølebehov, og dermed gi betydelige investeringsbesparelser.
- Utnyttelse av termisk masse forutsetter at den ikke "tildekkes", og at klima-installasjonene prosjekteres, installeres (programmeres) og driftes riktig.
- Energieffektive (naturlig klimatiserte) bygg trenger ikke være dyrere i investering, er langt rimeligere i drift og har lengre levetid.

Eriksson et al. 2007

Studieobjekt: Skogskjøtsel

Mål: Å utføre en integrert analyse av karbonbeholdning og -flyt assosiert med trebiomasse, skogsjord og skogprodukter under ulike skogskjøtselstrategier og produktbruk, inkludert substitusjon av fossilt brensel med biobrensel.

Om studien: Journalartikkel med referee. Den komplekse flyten mellom stående og høstet karbonlager, og koblingen mellom høstet biomasse og fossilt brenselsubstitusjon, oppfordrer til holistisk, systembred analyse i et livssyklusperspektiv for å evaluere effekten av skogskjøtsel og skogproduktbruk på karbonbalansen. De har analysert netto karbonutslipp ved ulike skogskjøtselstrategier og produktbruk, med hensyn til karbonflyt og -lager assosiert med trebiomasse, jord og skogprodukter. Simuleringer ble gjort ved å bruke tre skogforvaltningsregimer for gran (*Picea abies*) (tradisjonelt, intensivt drevet og intensiv gjødsling), tre praksiser med hensyn til hogstavfall (ingen fjerning, fjerning og fjerning med stubber), to skogproduktanvendelser (konstruksjonsmaterialer og biobrensel) og to referanser av fossilt brennstoff (kull og naturgass).

Resultater:

- Den største reduksjonen i netto karbonutslipp oppstod når skogen ble gjødslet, hogstavfall og stubber ble fjernet, tre ble brukt som konstruksjonsmateriale, og kull som fossilt brenselreferanse.
- Den laveste reduksjonen skjedde med tradisjonell skogskjøtsel, der hogstavfallet ble liggende og høstet biomasse ble brukt som biobrensel istedenfor naturgass.
- Produktbruk hadde den største effekten på netto karbonutslipp, mens skogskjøtselregime, referanse fossilt brensel og bruk av hogstavfall som biobrensel var lite signifikant.

Engberg og Eriksson 1998

Studieobjekt: Jernbanesviller i tre og betong

Mål: Økt kunnskap om hvordan betong- og tresviller påvirker miljøet ut fra et perspektiv der samtlige trinn i livssyklusen inngår

Funksjonell enhet: En jernbanesville

Livssyklusfaser: Analysen inkluderte uttak av råmaterialer, produksjon, distribusjon, bruk og avfallsdeponering

Om studien: LCA. Prosjektet var bestilt av Banverket HK, Miljøseksjonen, Borlänge og utført av Chalmers Industriteknik (CIT) avd. Ekologik. Avgrensinger er gitt i detalj i rapporten. To scenarier for avfallsdeponering ble studert. For betong brukte de to scenarier: deponering på fyllplass og resirkulering. For tre var det gjenbruk, som er det samme som deponering og brenning med uttak av energi. Tilleggsmaterialer som stål og jern resirkuleres. 50/50-metoden brukes for allokering mellom livssykluser. Varme fra brenning av tre substituerer gjennomsnittlig svensk langdistanse-varme. Jernbanesvillene i tre var kreosotbehandlet. Deponering er antatt å vare i 100 år, deretter går de tilbake til naturen. Utslipp i løpet av denne tiden er inkludert i analysen. Utslipp og brenselforbruk fra produksjon av elektrisitet er inkludert. Alle råmaterialene brukt i produksjonen er antatt å være jomfruelige materialer. Levetiden til en jernbanesville i tre er antatt å være 25 år, mens for betong er den antatt å være 40 år.

Resultater:

- Begge scenarioene for tresvillene er bedre enn for betongalternativet med hensyn til utnyttelse av ikke-fornybare ressurser, forsuring, utslipp til luft med toksikologisk virkning på mennesker og produksjon av avfall.

- Med hensyn til global oppvarming og fotooksidantdannelse var tre det beste alternativet hvis villene ble brent. Hvis de deponeres, er det et klart verre alternativ enn betongsviller på grunn av metanemisjon.
- Tresviller som brennes etter bruk, har lavere effekt på eutrofiering enn betongsviller som resirkuleres. Tresviller er med hensyn til dette også bedre hvis både tresvillene og betongsvillene deponeres på fyllplass etter bruk.
- Grunnet lekkasje av kreosot gjennom bruksfasen har tresvillene høy effekt på menneskelig toksikologi til vann og akvatisk økotoxikologi.
- En evaluering har blitt gjort med EPS-metoden og Ecoscarcity-metoden. Tresviller hadde dårligere effekt på miljøet enn betongsviller for begge metoder på grunn av kreosot.

Engelbertsson 1997

Studieobjekt:	Limtre- og stålbjelker i takkonstruksjoner, bandyhall
Mål:	Limtrebjelker sammenlignet med stålbjelker i takkonstruksjoner.
Funksjonell enhet:	1 m ² takareal.
Livssyklusfaser:	Høsting av råmaterialer, produksjon, arbeid på byggeplass og transport til avfallsdeponi er tatt med i livssyklusstudien.
Om studien:	LCA. Rapporten er utført på oppdrag av Jacobson & Widmark i Västerås av Avdeling for Stålbjggnad, institutt for Bärande Konstruktioner, KTH (Kungliga Tekniska Högskolan), Stockholm. Det er to ulike konstruksjoner avhengig av hva slags tak som er tenkt brukt. Tre alternativer er vurdert; stål, limtre og limtrebjelke. Riving, resirkulering og energiproduksjon er ikke tatt med i studien. Vedlikehold er antatt å være likt, og oppvarming er ikke del av funksjonen til konstruksjonen. Utslipp fra denne produksjonen av elektrisitet er sett bort fra. Tre ulike allokeringmetoder mellom livssykluser er brukt: cut-off (alle utslipp fra råmaterialuttak, produksjon og fyllplass er allokert til produktet), 50/50 (halvparten av emisjonene fra produksjon og avfallshåndtering er allokert til produktet), kvalitetsmetoden (utslipp fra produksjon og avfallshåndtering er delt på flere livssykluser med hensyn til reduksjon i kvalitet). I den rekkefølgen som de er nevnt, tar de mindre malmproduksjon med i vurderingen. Resultatene er evaluert med EPS-metoden (Environmental Priority Strategies i produktdesign. Basert på vilje til å betale for gjenopprettelse av biologisk mangfold, produksjon, menneskelig helse, ressurser og estetiske verdier til normal status), Environmental Theme-metoden (data på utslipp og bruk av ressurser er kalkulert som bidrag til miljøproblemer. Disse miljøproblemer er deretter vektet mot hverandre med hensyn til politiske mål) og Ecological Scarcity-metoden (faktisk emisjon er sett i forhold til kritiske emisjonsgrenser, for eksempel lovlige emisjonsgrenser).
Resultater:	<ul style="list-style-type: none"> - Stålbjelker har 2-8 ganger større miljøpåvirkning enn limtrebjelker. - Ved de gitte avgrensingene og forutsetningene fremgikk det at limtrebjelker er et bedre miljøvalg enn stålbjelker. Limtrebjelke kan ansees å være 2-30 ganger bedre, avhengig av allokerings- og vurderingsmetoder. - Kommer inn på utfordringer ved LCA. Størst arbeidsbelastning ligger i innsamling av miljødata for ulike materialer og produkter. En annen faktor er usikkerheten i resultatet. Mange antagelser må gjøres, hvilket gjør det vanskelig å bedømme følsomheten i resultatene. Miljøinformasjon for byggematerialer og produkter er dessuten av svært varierende kvalitet og omfang. Det kreves også forkunnskaper for å utføre LCA på en meningsfull måte.

Erlandsson 1991

- Studieobjekt:** Ledningsstolper. Aluminium, betong, stål, kreosotimpregnert tre og CCA-impregnert tre.
- Mål:** Å finne det mest miljøvennlige materialet med hensyn til alle deler i produktenes livssyklus.
- Livssyklusfaser:** Hele livssyklus
- Om studien:** KTH-rapport i samarbeid med Svenska Träskyddsinstitutet. Forfatteren sammenligner miljøbelastningen ved fremstilling og bruk av stolper av ulike materialer: aluminium, betong, stål, kreosotimpregnert tre og CCA-impregnert tre. Den spesifikke energitilgangen for stolpealternativene har blitt studert for første og andre livssyklus. Visse forenklinger har blitt gjort. Arbeidsmiljøkonsekvenser berøres ikke i denne rapporten.
- Resultater:**
- Både stål og aluminium forårsaker opptil 100 % færre utslipp og henholdsvis 65 og 94 % lavere energiforbruk når de lages fra skrap enn fra malm.
 - Trestolper har kortere levetid enn stolper i stål, betong og aluminium.
 - Dette er viktige aspekter for totalresultatet, hvor det i produksjonsfasen er mellom 12-99 % reduksjon i utslipp og energiforbruk grunnet substitusjon mellom stolper i tre og stolper i andre materialer. Et unntak er utslipp til bakken, fordi trebeskyttelsesmidlene i trestolpene avgir toksiske substanser til jorden gjennom livsløpet.
 - Aluminium er det mest energikrevende materialet av de undersøkte materialene, regnet pr. tonn. Om man tar hensyn til den lavere densiteten og den minskede energitilgangen ved andre livssyklus, blir imidlertid energitilgangen for fremstilling av en aluminiumsstolpe lavere enn tilsvarende stål- eller betongstolpe.

Fossdal 1995

- Studieobjekt:** Bygningsmaterialer i eneboliger. Tre og lette betongvegger
- Mål:** Vurdere og sammenligne ressursbruk og miljøbelastninger for forskjellige typer bygninger og bygningskomponenter ved bruk av den metodikk som er utviklet i forbindelse med livsløpsvurderinger og med de begrensninger som er angitt. Et annet mål var å fremskaffe data for de mest vanlige byggematerialene i Norge.
- Funksjonell enhet:** Pr. m² og 50 år
- Livssyklusfaser:** Råvareuttak til avfallshåndtering
- Om studien:** Rapporten er støttet av NORCEM as, norske industribedrifter, statlige organisasjoner og NTNf (Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Forskningsråd) for å kartlegge hva som er gjort og hva som var på gang innenfor området miljø- og energiregnskap for bygg i Norge og Norden. Sammenlignet energiforbruket og utslipp fra produksjon av bygningsmaterialer i to eneboliger i tre og én med lette betongvegger, samt kontorbygg i stål og betong. Levetiden var satt til 50 år, og tallene inkluderer utskiftninger og vedlikehold. Viser til usikkerheter og påpeker at sammenligninger er vanskelige med det tilgjengelige datagrunnlaget.
- Resultater:** Kun et lite utdrag av resultatene:
- En sammenligning av byggene innenfor kategoriene forbruk av ressurser, global klimaendring, forsuring, fotokjemisk oksidasjon og overgjødning viser alle den samme trenden: For boligene er det lettklinker som bidrar mest innenfor alle kategoriene, og forskjellen mellom denne boligen og treboligene er signifikante.

- Av boligene er det eneboligen i lettklinker som har det største energiforbruket og de største utslippene, og disse er signifikant større enn for de andre to boligene (i tre).
- Produksjonen av alle materialene i trehusene krever henholdsvis 41 og 46 % mindre energi enn produksjon av hus med lette betongvegger pr. m².
- Energiforbruket i driftsfasen utgjør 90-91 % av det totale energiforbruket for kontorbyggene og 92-93 % for eneboligene i tre, mens for lettklinkerboligen utgjør driftsfasen 88 % av det totale energiforbruket. Utslippene kommer derimot i det vesentligste fra produksjon av byggematerialer.
- Utslippene fra tre var mindre enn for lettbetong: CO₂ 56 og 51 % mindre, SO₂ 69 og 65 % mindre, NO_x 34 og 38 % mindre, og støv 40 og 46 % mindre.
- Lettklinkerboligen hadde det største forbruket av fossil energi. I tillegg har den større forbruk av fossil energi på den tekniske delen enn de andre byggene.
- Det var de bærende konstruksjonene som ga de største bidragene til global klimaendring. Dette gjaldt for alle byggene, og av disse utslippene utgjorde transporten ca. 8-10 %.

**Gustafsson et al.
2006**

Studieobjekt: Bærekonstruksjoner

Mål: Sammenligne CO₂-balanse ved substitusjon med tre

Livssyklus faser: Fra råvareuttak til avfallshåndtering

Om studien: I denne studien foreslås en metode for å sammenligne netto CO₂-utslipp fra bærekonstruksjoner av betong- og tre i bygninger. Metoden er deretter brukt på to bygninger i Sverige (Wälludden bygning) og Finland (Viikkii bygning) konstruert med bærekonstruksjon i tre, sammenlignet med funksjonelt ekvivalente bygningskonstruksjoner med bærekonstruksjon i betong. Karbonregnskapet inkluderte: utslipp grunnet fossilt brenselbruk i produksjonen av bygningsmaterialer, utskifting av fossilt brensel med biomasserester fra hogst, trebearbeiding, konstruksjon og riving; karbonlagringsendringer i skog og bygninger, og sementprosess reaksjoner.

- Resultater:**
- Bærekonstruksjon i tre krever mindre energi og avgir mindre CO₂ til atmosfæren enn bærekonstruksjoner i betong.
 - Livssyklusutslippene mellom bygninger med tre- og betongbærekonstruksjoner varierte fra 30 til 130 kg C pr. m² gulvareal. Derfor kan man oppnå en netto reduksjon av CO₂-utslipp ved å øke proporsjonene av trebaserte bygningsmaterialer i forhold til betongmaterialer.
 - Forskjellen mellom tre og betong i bærekonstruksjoner vil være størst hvis biomasseavfall fra produksjon av trematerialer ble utnyttet fullt ut i energiforsyningssystemer.
 - Karbonmigreringseffektiviteten, uttrykt som biomasse brukt per enhet av reduserte karbonutslipp, er vesentlig bedre hvis tre er brukt for å erstatte betong i bygningsmaterialer enn hvis tre utnyttes direkte som biobrensel.

Gustavsson og Sathre 2006

Studieobjekt: 4 etg. bolighus med 16 leiligheter

Mål: Variasjon i energi og CO₂-balansen til bygningsmaterialer i tre og betong

Livssyklus faser:

Fra skog til håndtering av rivingsavfall

Om studien:

Journalartikkel med referee. En rekke faktorer påvirker energi- og CO₂-balansen i bygningsmaterialer i løpet av livssyklusen. Tidligere studier har vist at bruk av tre i konstruksjoner generelt resulterer i lavere energiforbruk og CO₂-utslipp enn betong. For å bestemme usikkerhetene i denne generaliseringen, studerte de endringer i energi- og CO₂-balansen forårsaket av nøkkelparametre i produksjonen og bruken av materialer innbefattet bærekonstruksjoner i tre- og betong. Parametre vurdert var produksjonseffektivitet for klinker, blanding av sement, knusing og aggregering, resirkulering av stål, effektivitet av tretørking, materialtransportavstand, karboninnholdet av fossilt brensel, gjenvinning fra hogst, sagbruk, konstruksjon og rivingsavfall for bruk som biodrivstoff, vekst og utnyttelse av overskuddsskog som ikke trengs i materialproduksjon. De ser ikke på forskjellen mellom metoder, men i stedet på bruken av en konsistent metode for å bestemme marginale effekter av variasjon av visse fysiske parametre relatert til produksjon og bruk av bygningsmaterialer.

Resultater:

- De fant at materialer til trebygningen hadde lavere energi- og CO₂-balanse enn de med bærekonstruksjoner i betong i alle unntatt ett tilfelle.
- Gjenvinning av rivings- og treprosessrester for bruk i stedet for fossilt brensel bidro mest signifikant til lavere energi- og CO₂-balanse for bygningsmaterialer til bærekonstruksjoner i tre.
- De konkluderer med at bruken av bygningsmaterialer i tre i stedet for betong, koblet med større integrasjon av biprodukter av tre inn i energisystemer, vil være en effektiv måte å redusere bruk av fossilt brensel og netto CO₂-utslipp til atmosfæren.

Flyt av trebaserte materialer (ovnstørt materiale (tonn), og av biomasse fjernet fra skogen (i %)) fra skog til sagbruk til bygning til riving:

Kilde	Bærekonstruksjoner		Bærekonstruksjoner	
	i tre		i betong	
	Tonn	%	Tonn	%
Total trebiomasse	288,5	139,0	186,2	139,0
Biomasse fjernet fra skog	207,5	100,0	133,9	100,0
Høstet rundtømmer	166,8	80,4	107,6	80,4
Gjenvunnet rest fra skog	40,7	19,6	26,3	19,6
Sagbruksrest brent initialt	8,2	4,0	6,2	4,6
Sagbruksrest tilgjengelig eksternt	69,1	33,3	38,7	28,9
Gjenvunnet konstruksjonsavfall	8,9	4,3	6,3	4,7
Trematerialer i bygningen	80,5	38,8	56,4	42,1
Gjenvunnet rivingsvirke i tre	80,5	38,8	56,4	42,1

Hassan 2004**Studieobjekt:**

Yttervegg

Mål:

Bruk av verdifokusert tenking ved miljøvalg av veggstrukturer. Case-studie av tre ulike kategorier yttervegger

Funksjonell enhet:1m² vegg, 120 år**Om studien:**

Journalartikkel med referee. Beslutning om valg av bygningsstrukturer med

hensyn til miljøkrav er et tema som ofte etterlyses i miljøforvaltningen. I dette arbeidet studeres viktigheten av å vurdere beslutningsanalyseteknikken verdifokusert tenkning ved miljøvalg av veggstrukturer. I denne konteksten er det utviklet en kvalitativ modell hvor eksterne og interne miljøfaktorer vurderes. Modellen er brukt på et case-studie hvor valget står mellom tre ulike utvendige veggstrukturer: tre, mur og betong. Overflatebehandling er ikke tatt med i studiet da den var lik for alle tre veggene, men vedlikehold og reparasjoner er inkludert. Med i studien var også energibruk, ressursfornyning, gjenbruk og resirkulering, drivhuseffekt, utslipp til luft, vann og jord, utslipp fra bygningsmaterialer, brannegenskaper og lydisolering. Kvantifiseringsprosedyren er basert på LCA-studier fra (Erlandsson et al. 1994; Jarnehammar and Beyer 1998).

Resultat:

- Veggstrukturer laget av tre er det mest compatible valget med hensyn til eksterne og interne miljøkrav for bygningsstrukturer. Betong og mur kommer på henholdsvis andre og tredjeplass.
- Beslutningstagere bør være forsiktige når det gjelder vektning av kriterier. Et kriterium kan være viktig på ett tidspunkt, mens det på et senere tidspunkt ikke lenger er viktig.

Jarnehammar 1998

Studieobjekt:

Bjelkelag og yttervegger.

Mål:

Sammenlignende livssyklusanalyse for yttervegger og bjelkelag

Funksjonell enhet:

1m² bjelkelag, 100 år og 1m² yttervegg, 100 år

Livssyklusfaser:

Råvareutvinning til avfallshåndtering

Om studien:

Tråtek rapport. Finansiert av Träforsk og NUTEK. Har listet opp hvilke deler av livssyklusfasen som er inkludert og hvilke som ikke er med i rapporten.

En sammenlignende studie (LCA) ble gjennomført for tre ulike yttervegger og tre ulike bjelkelag. Ytterveggene bestod av tre i stort sett like konstruksjoner, men fasadematerialet var: mur, betong, tradisjonelt trepanel, eller Kauna-panel (kvalitetssikret). De tre bjelkelagene som ble studert, var en treintensiv-, en lett tre- og én betongkonstruksjon. Evaluering av de inventerte miljøparametrene fra råvareutvalg til og med bruken av produktene har blitt gjort gjennom en klassifisering til fire ulike miljøeffekter samt en vurdering i henhold til EPS-metoden. De fire studerte miljøeffektene var drivhusgass, forsuring, overgjødning og bakkenært ozon.

Resultater:

- Både for yttervegger og bjelkelag gir de produktene som er trebasert et lavere bidrag til drivhuseffekten enn sammenlignbar konstruksjon i betong og mur. Årsaken er at fornybare råvarer brukes til energifremstilling ved produksjonsstedet.
- Mer treintensive produkter gir et høyere bidrag til dannelsen av bakkenært ozon.
- Lengre levetid og mindre vedlikeholdsbehov er en fordel ut fra et miljøsynspunkt hvis tiltakene for å øke disse ikke gir en større påvirkning til det ytre miljøet.
- Vurdering av miljødata bør gjøres gjennom en klassifisering til flere ulike miljøpåvirkningskategorier. Vurderinger som resulterer i én eneste verdi bør unngås.
- LCA-metodikken er et verktøy for å gjøre overgripende bedømmelser av et produkts miljøpåvirkning. Mulighetene for å gjøre direkte sammenligninger mellom ulike materialer er i dag begrenset. Metoden bør brukes for miljøtilpasset produktutvikling internt på bedriftene.

Jönsson et al. 1995

Studieobjekt:	Gulv
Mål:	Studere miljøeffekten av tre gulvmaterialer gjennom hele livssyklus
Funksjonell enhet:	1 m ² gulv pr. år.
Livssyklusfaser:	Råmaterialutvinning, produksjon og avfallshåndtering
Om studien:	Rapport finansiert av det svenske Byggforskningsrådet og utført av avdeling for miljøteknisk planlegging ved Chalmers Tekniska Högskola (CHT). Sammenlignet linoleum, vinyl og heltre furugulv. LCA. For alle de tre gulvtypene skjer avfallshåndteringen ved forbrenning med varmeutvinning. Elektrisitet er målt som forbrukt energi, ikke inkludert ineffektivitets tap i energidannelse og overføring, og utslipp fra denne energiproduksjonen er ikke inkludert. Avgrensingene står beskrevet i detalj i rapporten.
Resultater:	<ul style="list-style-type: none">- Produksjon av furugulv konsumerte 49-54 % mindre elektrisitet og 78-80 % mindre fossilt brensel enn produksjon av vinyl og linoleum. Videre er tre det eneste materialet som bruker fornybar energi og har høyest brennverdi.- Furugulv har lavest emisjon av CO₂, SO₂ og VOC (volatile organic compounds) pr. år. Furugulv viser seg å være det beste alternativet med hensyn til VOC, men i dette tilfellet kan det virke overraskende, grunnet den lengre holdbarheten til furugulv.- Furugulv forårsaker ikke noe avfall. Til sammenligning gir både vinyl og linoleum visse mengder farlig avfall, hovedsakelig fra produksjon av pigment.- Furugulv avgir 31,6 g NO_x-gasser i løpet av levetiden, mens linoleum og vinyl avgir henholdsvis 12,8 og 8,36 g. Selv om man tar det lengre livsløpet til furugulv med i betraktningen, forårsaker det høyere utslipp av NO_x-gasser per år enn de andre materialene. De høyere emisjonene fra furugulv er hovedsakelig på grunn av forbrenningsforholdene for biobrensel under tørking ved sagbruk.- Furugulv er bedre enn vinylgulv med hensyn til utslipp av støv, men verre enn linoleum. I tillegg forårsaker vinylgulv utslipp av klororganiske substanser til luft og vann.- I evalueringen med EPS-metoden (Environmental Priority Strategies i produktdesign. Basert på vilje til å betale for gjenoppretelse av biologisk mangfold, produksjon, menneskelig helse, ressurser og estetiske verdier til normal status), Environmental Theme-metoden (data på utslipp og bruk av ressurser er kalkulert som bidrag til miljøproblemer. Disse miljøproblemene er deretter vektet mot hverandre med hensyn til politiske mål) og Ecological Scarcity-metoden (faktisk emisjon er sett i forhold til kritiske emisjonsgrenser, for eksempel lovlige emisjonsgrenser) gir furugulv bedre resultater. Den første legger størst vekt på bruk av fossilt brensel og utslipp av CO₂, i de to andre vektlegges farlig avfall.

Jönsson et al. 1997

Studieobjekt:	Gulv
Mål:	Å vurdere og sammenligne miljøeffekt av tre gulvmaterialer gjennom hele deres livssyklus
Funksjonell enhet:	Dekningen av 1m ² gulv gjennom 1 år
Livssyklusfaser:	Fra vugge til grav

Om studien: Journalartikkel med referee. Sammenligner linoleum, vinyl og ubehandlet heltregulv i en LCA-case-study. Scenarioet beskriver svenske forhold. Bare påvirkning av det naturlige miljøet ble studert. De kvantitative resultatene fra inventeringsanalysen ble evaluert med tre ulike vurderingsmetoder.

[Basert på (Jönsson, Tillman et al. 1995)]

- Resultater:**
- Både i kartleggingen og effektanalysen av miljøpåvirkningen ved de gitte forutsetningene var heltregulv klart det beste alternativet blant de studerte materialene.
 - Basert kun på de kvantitative kartleggingsresultatene kunne man ikke trekke noen definitiv konklusjon mellom linoleum og vinyl.
 - Når man tar med i betraktningen vurderingen av miljøskadelige substanser i livssyklus til gulv og funnene i effektanalysen, ble det konkludert med at linoleum trolig er å foretrekke fremfor vinyl ut fra et miljøperspektiv.
 - Det påpekes at det er mangler i dokumentasjonen, størst i produksjonen av langdistanseråmaterialer for linoleum, som resin, jute og kork.
 - I det videre arbeidet er det viktig å se nærmere på miljøpåvirkningen av rengjøringsmetodene, stell og vedlikehold i løpet av bruksperioden.
 - De påpeker også at det er viktig å se nærmere på de langsiktige miljøeffektene av avfallsdeponering av bygningsavfall.

Junnila 2004

Studieobjekt: Kontorbygg

Mål: Vurdere miljøpåvirkningene av et kontorbygg gjennom livsløpet

Om studien: Junnila vurderer i sitt doktorgradsarbeid miljøpåvirkningene av et kontorbygg gjennom livsløpet. Han brukte både en multiple-case study metode og LCA for å se på livssyklusfasene og elementene som bidro mest til en bygnings livssyklus-effekt. Han gjorde også en sensitivitetsvurdering for å se på effekter av mulige endringer gjennom levetiden (50 år).

- Resultater:**
- Bruksfasen (elektrisitet, oppvarming og andre tjenester) dominerte virkningen på klimaendring, forsuring og eutrofiering.
 - Produksjon av bygningsmaterialer (i konstruksjon og vedlikehold) dominerte effektene på sommersmog og tungmetaller.
 - De viktigste miljøfaktorene i bygninger var: bruk av elektrisitet, HVAC og belysning, varme i ventilasjon og elektrisitet, materialer brukt på interne overflater og HVAC-tjenester, og bruk av vann og avløpsvann. De var ganske dominante idet de stod for 20 % av livssykluselementene, forårsaket 45-75 % av den gjennomsnittlige livssykluseffekten av de studerte bygningene og 60-75% av kumulativ range.
 - En viktig erfaring er at det ikke er tilrådelig å bruke vektrelaterte cutoff-kriterier i kartleggingsanalyser, fordi selv små materialmengder kan ha betydelig livssykluseffekt. Selv om lokalforholdene kan ha en klar påvirkning på graden av livssykluseffekt, synes lokale forhold å ha mindre påvirkning på bidraget gitt av ulike livssyklusfaser.

Jungmeier et al. 2002a, b

Om studien: Journalartikkel med referee. Erfaringer fra Cost Action E9. Håndteringen av allokeringer i beskrivelsen av LCA av trebaserte produkter har blitt diskutert lenge, og ulike løsninger har blitt presentert. Generelt er det akseptert at påvirkningen av ulike allokeringsprosedyrer på resultatet av LCA av trebaserte

produkter kan være signifikant. Denne artikkelen er et resultat av Cost Action E9 "Life cycle assessment of forestry products".

Tre er et fornybart materiale som kan brukes til treprodukter og energiproduksjon. Konsistente metodeprosedyrer er nødvendig for å ta hensyn til denne todelingen av tre som materiale og energikilde på en korrekt måte. Den multifunksjonelle treprosessen genererer store mengder biprodukter og gjenbruk eller resirkulering av papir og tre. Ti ulike prosesser i LCA av trebaserte produkter er identifisert hvor allokeringsspørsmål kan dukke opp: skogbruk, sagbruk, treindustri, masse- og papirindustri, sponplateindustri, resirkulering av papir, resirkulering av trebaserte plater, resirkulering av treavfall, kombinert varme- og energi produksjon, og avfallsdeponering.

Resultat:

Følgende konklusjoner for allokering i LCA av trebaserte produkter er gitt:

1. Unngå allokering ved utvidelse av systemgrensene ved å kombinere material- og energiaspektet av tre, det vil si en kombinasjon av LCA av treprodukter og av energi fra tre med en funksjonell enhet for produkt og energi.
2. Substituere energi fra tre med konvensjonell energi i LCA av treprodukter for å få den funksjonelle enheten av bare treproduktet, men identifisere kriteriene for substitusjon av energi.
3. Substitusjon av treprodukter med ikke-treprodukter i LCA av bioenergi er ikke anbefalt, fordi substitusjonskriteriene kan bli for komplekse.
4. Hvis man ikke kan unngå allokering, bør årsaken til dette dokumenteres.
5. Ulike allokeringprosedyrer må analyseres og dokumenteres. I mange tilfeller synes det nødvendig å lage sensitivitetsanalyser av ulike allokeringalternativer for ulike miljøeffekter. Det kan også være nyttig å få aksept for de valgte allokeringprosedyrene av eksterne eksperter.
6. Ulike allokeringfaktorer, for eksempel vekt eller økonomisk verdi er tillatt innen samme LCA.
7. For allokering av skogbruksprosesser er det nødvendig å beskrive hovedfunksjonen til skogen hvor råmaterialene er tatt ut. I noen tilfeller må ulike typer eller funksjoner av skog vurderes og beskrives.
8. Basert på erfaringer er følgende praktiske allokeringer for noen prosesser identifisert: skogbruk – vekt eller volum, sagbruk – vekt eller volum og utbytte, og treindustri – vekt eller utbytte.

Jungmeier et al. 2003

Om studien:

Journalartikkel med referee. Erfaringer fra Cost Action E9. Denne artikkelen gir råd for håndtering av energi i LCA av skogprodukter. Denne artikkelen er et resultat av Cost Action E9 "Life cycle assessment of forestry products" og arbeidsgruppen "End of life-recycling, disposal and energy generation".

Målet var å få en oversikt over energi i LCA av skogprodukter. De viktigste aspektene ble identifisert: 1) energi og karbonbalanse, 2) energigenerering, 3) energisubstitusjon og 4) sammenligning med andre avfallshåndteringsalternativer.

Resultat:

Ved siden av god håndtering av aspektene nevnt over, er følgende konklusjoner for LCA-arbeid gitt:

1. Vær oppmerksom på tap av potensiell energi i karbonflyt.
2. Sammenlignet med varneverdiene av biomasse er tilleggse energibehovet lavt (< 10 %).
3. Substitusjonsraten (bioenergi for fossilt brensel) kan være lavere enn 100 %,

avhengig av teknisk system tilgjengelig.

4. En høy substitusjonsrate kan være et optimaliseringskriterium for LCA.
5. En sensitivitetsanalyse av ulike substitusjonskriterier bør lages.
6. Sammenlign energigenerering med andre avfallshåndteringsalternativer.
7. Bruk av bioenergi kan være CO₂-nøytral, men ikke CO₂-fri.
8. Den viktigste fordelene med bioenergi er drivhusgassreduksjon ved substitusjon av fossil energi.

Kristensen 1999

Studieobjekt:	Bærekonstruksjoner i lagerbygninger
Mål:	Sammenligne miljøeffektene ved å velge ulike materialer for bruk i bærekonstruksjoner lagerbygninger
Funksjonell enhet:	Bærekonstruksjon i et lagerhus med lengde 42 m, bredde 24 m og høyde 4,8 m som tilfredsstillende de gitte spesifikasjonene for en periode på 50 år
Livssyklusfaser:	Produksjon og utnyttning av råmaterialer til riving og resirkulering
Om studien:	NTI rapport. Sammenlignet bærekonstruksjoner i lagerbygg i limtre med tilsvarende i stål og betong. En "vugge til grav" analyse er utført. En effektvurdering av disse byggverkene ble også utført. Kategoriene var global oppvarming, forringelse av stratosfærisk ozon, forsuring, eutrofiering, fotooksidantdannelse, menneskelig toksikologi og økotoksikologi, og abiotisk forringelse. Studien inkluderer ingen tolkning av resultater.
Resultater:	<ul style="list-style-type: none">- Limtre forårsaket 58 % mindre utslipp av CO₂-ekvivalenter enn ved bruk av stål og 64 % mindre utslipp enn ved bruk av betong.- Sammenlignet med betong var limtre bedre på forsuring og eutrofiering, men verre på fotokjemisk oksidantdannelse.- Sammenlignet med stål var bærekonstruksjon i limtre bedre på fotokjemisk oksidantdannelse, lik for forsuring og verre på eutrofiering.- Limtrekonstruksjonen var svært ufordelaktig med hensyn til menneskelig toksikologieffekt og økotoksikologieffekt.

Lenzen og Treloar 2002

Om studien:	Journalartikkel med referee. Analyserte trevirke og betong konstruksjonene i Börjesson og Gustavsson 2000.
Resultater:	<ul style="list-style-type: none">- Energibehovet og drivhusgassutslippet var underestimert med en faktor på ca. 2. Likevel støtter undersøkelsen konklusjonen til Börjesson og Gustavsson i at betongkonstruksjoner skaper høyere utslipp enn trekonstruksjoner.

Lindholm og Berg 2001

Studieobjekt:	Svensk skogbruk
Mål:	Målet var å se hvordan skogbrukets energibruk og ressursforbruk påvirker miljøet. De ser på hvordan ulike livssyklusstudier kan kobles sammen og gi et samlet bilde av produkter eller tjenesters miljøpåvirkning fra "vugge til grav".
Funksjonell enhet:	m ³ fub
Livssyklusfaser:	De har analysert hvilke ressurser som inngår ved utvinning og produksjon av de varene skogbruket bruker i form av drivstoff, elektrisitet, gjødsel for skog og

planteskoler, innpakning for varer i planteskolearbeidet, samt planter. Ressursene følges tilbake til "vuggen", der de ble høstet fra naturen.

Om studien:

Gir i en Skogforskrappport en oversikt over hvordan skogbrukets energi- og ressursbruk påvirker miljøet i et livssyklusperspektiv. Det blir gjort sammenligninger av miljøpåvirkningene i Syd-, Mellom- og Nord-Sverige. LCA. Miljøpåvirkningskategoriene ble delt inn i videretransport, hogst, skogskjøtsel og planteproduksjon.

Resultater:

- Påvirkningen på drivhuseffekt, overgjødning, forsuring og bakkenært ozon er størst ved videretransport og hogst, men skogskjøtsel og planteproduksjon er ikke helt uten betydning. I syd står planteproduksjon for 50-80 % av skogskjøtselens miljøpåvirkning. Det er først og fremst oppvarming av lokaler og veksthus med olje som påvirker miljøet. Planteproduksjon er den eneste av skogbrukets aktiviteter som er knyttet til en fast lokalitet. Skogskjøtselens innflytelse er størst for bakkenært ozon og drivhuseffekten.
- Skogbruket påvirker også miljøet på andre måter, som biologisk mangfold og kulturhistorie, men for å speile disse må man bruke andre metoder.

Skogbrukets energibruk; MJ pr.m³ uten bark:

	Nord	Mellom	Syd
Planteproduksjon	5	8	9
Skogkultur	16	15	3
Hogst og kjøring	66	65	57
Transport	113	99	77
Totalt	200	187	147

- Det er også gjort analyser av hvilke ressurser som går med til utvinning og produksjon av de innsatsvarer som skogbruket anvender i form av drivstoff, elektrisitet, gjødsel og innpakning i planteskoler i de tre geografiske regionene. Ressursene har blitt fulgt tilbake til "vuggen", dvs. til det punktet de ble plukket ut av naturen. Generelt kan man si at man får høyere verdier når man går fra sør mot nord.
- Skogbrukets andel av miljøpåvirkningen i en planke er også målt. Ca. halvparten av virket som avvirkes i Sverige leveres til sagbruk. I rapporten vises sagbrukenes bidrag til drivhuseffekten og forsuring per kubikk meter saget virke. I dette tilfellet utgjorde det 11 % når det gjelder drivhuseffekt. Det blir da benyttet 75 % fornybart skogsbrensel ved sagbruket, først og fremst i tørkeprosessen. Når det gjelder forsuring, står skogbruket for 34 % av de sagede treproduktene miljøbelastning.
- Miljøpåvirkningene er størst i nord fordi flere hektar må avvirkes for å få samme volum [lavere stående volum i nord].
- I en sammenligning av elektrisitet fra skogsbrensel og olje viste det seg at bidraget til drivhuseffekten er halvparten så stort fra skogsbrensel. Tar en hensyn til at skogsbrensel er en fornybar ressurs, blir bidraget til veksthouseffekten lite. Elektrisitet fra skogsbrensel bidrar vesentlig mindre til forsuring enn elektrisitet produsert fra olje.

Lindholm og Berg 2005

Studieobjekt:

Tømmertransport

Mål:

Energibehov og miljøeffekt av tømmertransport

- Funksjonell enhet:** Transport av 100 000 m³ tømmer uten bark fra skog i nordvest Sverige til en tømmerterminal på østkysten av Sverige
- Livssyklusfaser:** Hele drivstoffsyklusen til hvert transportsenario ble vurdert, fra ekstraksjon av energibærere til endelig bruk
- Om studien:** Journalartikkel med referee. Transport av tømmer fra skogen til industritomt konsumerer mer energi enn noen annen del av svensk treleveringskjede. Denne artikkelen sammenligner miljøprestasjonene og energikravene for en rekke mulige strategier for langdistansetransport som lastebil eller kombinasjoner av lastebil og tog, ved bruk av en rekke potensielle drivstoff/energibærere, inklusive dieselolje, kull, vannkraft, kjernefysisk energi og biodrivstoff. Den totale effektiviteten til et komplett system (for eksempel "brønn til hjul" effektivitet) er vurdert. Målingene brukt for å sammenligne scenarier var 1) mengde og effektivitet av energitilførsel til drivstoffsyklus og 2) utslipp som har en potensiell global oppvarmingseffekt, forsuring og eutrofieringsstoffer og gasser som bidrar til dannelse av fotokjemisk ozon. Ni ulike scenarier.
- Resultater:** Resultatene indikerer at transportalternativ som inkluderer togtransport trenger mindre prosessenergi enn alternativene basert eksklusivt på veitransport. Men beregningene viser at ved å bruke biodrivstoff i stedet for fossilt brensel i en lastebil, er det mulig å erstatte 96 % av den fossile energien.

Löfgren og Berg 2003

- Om studien:** Löfgren og Berg så i Resultat fra Skogforsk på syntetisk brensel fra skogsråvarer som alternativ til fossilt brensel i avvirking og transport.
- Drivstoff basert på skogsråvarer gir vesentlig lavere miljøpåvirkning (CO₂, overgjødsling, forsuring, bakkenært ozon) for de analyserte faktorene enn dieselbasert drivstoff. Dermed så de ikke noe tydelig skille mellom det testede syntetiske EcoPar, etanol og metanol når det gjelder miljøpåvirkning.

Mørkved og Opdal 1990

- Om studien:** NTI rapport. Presenterer en studie av energiforbruket i uttak av råvarer og produksjon av bærekonstruksjon, tak og veggkonstruksjoner. Elektrisitet er målt som effektiv energi. Derfor er resultatet påvirket av hvor produksjonen av stål og betong er lokalisert.
- Resultater:**
- Trekonstruksjonen viste 44-85 % mindre energiforbruk enn lignende konstruksjoner i stål, og 70-87 % mindre enn lignende konstruksjoner i betong.

Norén og Jarnehammar 1999

- Studieobjekt:** Vinduer
- Mål:** Gjennomføre en LCA for trevinduer og vinduer i tre/aluminium
- Funksjonell enhet:** 10 m² vindu i en bygning med en levetid på 100 år. Vinduer med 30 og 70 års levetid.
- Livssyklusfaser:** Råvareutvinning til avfallshåndtering
- Om studien:** Trätekrappport finansiert av NUTEK og LCA utført av medvirkende selskaper. En LCA er blitt gjennomført for to trevinduer og tre tre/aluminium vinduer. Arbeidet ble utført i samarbeid med tre vindusprodusenter og et selskap som lager aluminiumsprofiler samt bransjeorganisasjonen SNIRI. I studien har en LCA-metodikk basert på livstidsvurdering (LTA) blitt brukt. Den sistnevnte metoden har vist seg gunstig for produkter med lang levetid, som for eksempel vinduer.

Avgrensinger i studien er gitt i rapporten. Miljøpåvirkningen som er undersøkt omfatter drivhuseffekt, forsurening, bakkenært ozon og overgjødning.

- Resultater:**
- Vinduer med lang levetid medfører mindre miljøbelastning. En kort livslengde hos vinduer medfører bytte av vinduer i løpet av byggets levetid: hvert slikt bytte av vinduer tilsvarer den miljøbelastningen som oppstår ved å produsere et vindu.
 - Utslippene til luft domineres av CO₂, CO, H_xC_y, NO_x og SO_x som samtlige har opphav i fossilt brensel. Størst er utslippet av CO₂ som hovedsakelig kommer fra produksjon av planglass og aluminium. Generelt gjelder at energieffektive vinduer med lave utslippsverdier og lang levetid gir liten miljøpåvirkning. Store miljøgevinster kan oppnås ved å bruke slike trevinduer og tre/aluminiumvinduer.

[Det presenteres en rekke figurer i rapporten som sammenligner de ulike vinduene. Vi har ikke gått nærmere inn på tolkning av disse figurene.]

Norén and Jarnehammar 2001

Studieobjekt: Bjelkelag, ytter- og innervegger samt et helt hus der disse bygningsdelene inngår

Mål: Sammenligne konstruksjoner med tre, betong og stål

Funksjonell enhet: Bygningsdeler: komponent med areal 1m² + utvinnbar energi som oppfyller samme funksjon med hensyn til bæreevne, brann og lydisolering

Husene totalt: et fireetasjes bolighus + utvinnbar energi, der inngående bygningsdeler oppfyller samme funksjon med hensyn til bæreevne, brann og lydisolering og samme energieffektivitet ved drift ved en levetid på 40 år

Livssyklusfaser: Fra råvareuttak til avfallshåndtering

Om studien: Beskriver bakgrunnsfakta med hensyn til miljøaspekter som ligger til grunn for Svensk Träs temautstilling på Bo01-messen i Malmø. Et industriprosjekt der Svensk Trä og Vinnova har finansiert arbeidet. En sammenligning av de aktuelle konstruksjonsløsningene for Trähus 2001 med alternative løsninger i betong og stål. I de studerte konstruksjonene er bjelkelag, ytter- og innervegger, samt et helt hus der disse bygningsdelene inngår. Sammenligninger er blitt gjort for følgende miljøparametre: Energibruk for hele livssyklusen, opplagring og utslipp av CO₂ i hele livssyklusen, forsurening, overgjødning og bakkenær ozondannelse.

Sammenligningen er gjort ved hjelp av LCA med visse begrensninger (angitt i studien). Forfatterne oppgir at studien ikke følger en fullstendig LCA-rapport i henhold til ISO 14040-43. Sammenligningen av bygningsdeler går ut fra at de har samme funksjon med hensyn til isoleringsevne, bæreevne, lydisolering og brann. Studien omfatter bygningsdelenes fremstilling og sluttbruk. Bruksfasen inngår ikke, fordi alle konstruksjoner er antatt å ha samme varmeisoleringssevne og dermed gir samme energibehov. Grunn- og takkonstruksjoner inngår ikke i miljøbedømmelsen av hele huset. De valgte konstruksjonene i tre representerer de som inngikk i Trähus 2001, og for betong og stål de som, for Skanska, er de vanligst brukte løsningene.

- Resultater:**
- Trekonstruksjoner generelt gir et lavere bidrag til drivhuseffekten enn sammenlignbare konstruksjoner i betong og stål.
 - Energibruken for fremstilling er om lag den samme for de ulike konstruksjonene, men for trekonstruksjoner er andelen fornybar energi større.
 - For trekonstruksjoner er den energien som går til gjenvinning når huset rives, minst like stor som den energien som trengs til fremstilling.

Mer resultater hentet fra rapporten:

- Energibruk for hele livssyklusen: Trekonstruksjoner i sin allminnelighet krever omtrent samme energimengde ved fremstilling som konstruksjoner laget i betong. Men trekonstruksjoner har større andel fornybar energi som er mulig å gjenvinne ved riving. For trekonstruksjoner er den energien som kan utvinnes, minst like stor som den energien som trengs til produksjon. For trebjelkelag er det mulig å utvinne nesten det dobbelte av den energien som brukes til produksjon. Ved produksjon av tre og trebaserte materialer brukes dessuten en stor andel biobrensel.
- Drivhuseffekt: Trekonstruksjoner gir generelt et lavere bidrag til drivhuseffekten enn tilsvarende i betong. Dette er delvis fordi det ved produksjon av trekonstruksjoner brukes mindre fossilt brensel sammenlignet med betong og stål, og delvis fordi trematerialet kan gjenvinnes når huset rives, slik at man kan spare fossilt brensel. Først og fremst er det konstruksjoner med stor treandel, f. eks. bjelkelag, som medfører lav påvirkning på drivhuseffekten.
- Forsuring: Forskjellen mellom tre- og betongkonstruksjonene er liten. For trekonstruksjonene er det først og fremst gipsplater og isolering som bidrar til forsuringen, og for betong er det produksjonen av betong. De treintensive konstruksjonene, blant annet bjelkelaget og veggen mellom leilighetene, gir et noe lavere bidrag enn tilsvarende konstruksjoner i betong. Dette er først og fremst fordi trematerialet generelt gir lite bidrag til forsuring.
- Overgjødsling: Med unntak av trebjelkelag gir trekonstruksjoner et noe lavere bidrag enn tilsvarende i stål og betong. Det største bidraget for trebjelkelaget er hovedsakelig fra produksjon av spon- og gipsplater.
- Bakkenært ozon: Trekonstruksjonene gir gjennomgående et større bidrag til bakkenært ozon enn tilsvarende konstruksjoner i stål og betong. Trebjelkelaget og skillevegg i tre mellom leiligheter som begge inneholder en stor andel tre, gir det største bidraget. De prefabrikkerte konstruksjonene gir et noe større bidrag enn det som lages på byggeplass, fordi de inneholder en del tre som monteres på byggeplassen.
- Sammenligningen er først og fremst gyldig for de aktuelle bygningene, men kan uten større avvik også tilpasses andre bygg og komponenter.

Norén og Jarnehammar 2002

Om studien:

Rapporten til (Norén og Jarnehammar 2002) er støttet av Swedish Wood Association og Vinnova.

Rapporten beskriver "state of the art" for miljøvurderinger av trebygninger med spesiell fokus på Europa og Canada. En litteraturgjennomgang refererer til miljøaspektene av trebygninger sammenlignet med bygninger av andre materialer. En oversikt over de vanligste kommersielle evalueringsverktøyene er presentert. Studien refererer også til arbeid i den europeiske kommisjonen for harmonisering og standardisering av LCA-verktøy og miljøaspektene i konstruksjonsstandardene.

Ti ulike miljøvurderingsverktøy presenteres kort i rapporten. Ifølge Norén og Jarnehammar fantes det i 2002 få studier i litteraturen hvor miljøegenskapene til trebygninger sammenlignes med bygninger av andre materialer slik som stål og betong. De baserer derfor denne rapporten på arbeidet til Trusty og Meil 1999, Scharai-Rad og Welling 2002, Norén og Jarnehammar 2001, Björklund et al. 1997 og Krogh et al. 1998. I tillegg så de også på en LCA studie som ikke inkluderte tre. I en studie utført ved Träteck i 2001 av Jarnehammer, er miljøundersøkelser på andre materialprodusenter samlet, og konklusjoner vedrørende LCA-arbeid for plastikk-, stål-, aluminium- og betongindustrien er sammenfattet.

Resultater:

Hovedkonklusjonene i studien er:

- Miljøpåvirkningen er lavere for trebygninger enn for bygninger av andre materialer.
- Det er behov for standardisering og harmonisering av LCA-verktøy og miljøaspektene i bygningsstandardene. Det er også viktig å etablere et vel organisert system for å samle inn miljødata for bygningsmaterialer og prosesser.
- Et analyseverktøy kan være sofistikert og inkludere mange aspekter, men uten representative data vil det ikke bli pålitelige resultater, spesielt når en sammenligner bygninger og strukturer av ulike materialer.

NOU 2006:18

Om studien:

Ved Kongelig resolusjon av 11. mars 2005 ble det oppnevnt et utvalg for å utrede hva som må gjøres for at Norges utslipp av klimagasser skal reduseres med 50-80 % innen 2050. I (NOU 2006:18) *Et klimavennlig Norge* står det blant annet skrevet i boks 6.7 "Tre eller sement i bygningssektoren – hva skal man velge?" at økt trebruk vil kunne gi reduserte klimagassutslipp dersom dette erstatter andre og mer belastende materialer i bygningssektoren. Den klimamessige gevinsten ved for eksempel overgang fra betong til massivt tre kan grovt anslås til 0,4 tonn CO₂-ekvivalenter pr. tonn økt treforbruk. Tilsvarende tendenser gjelder for overgang fra lette stålkonstruksjoner til massivt tre, og for overgang fra lette bindingsverkskonstruksjoner i tre til massivt tre, selv om utbyttet her blir noe lavere (henholdsvis 0,3 og 0,25 tonn CO₂-ekvivalenter pr. tonn økt treforbruk). Opplysningene er hentet fra (Berge og Stoknes 2004).

I boks 6.6 "CO₂-lagring i treprodukter", utdrag:

I forbindelse med CO₂ og klima er det hvor mye karbon vi klarer å holde ute av kretsløpet over tid som er avgjørende. Siden skog og treprodukter henger så nøye sammen, er det viktig å ha litt innsikt i de relative størrelsene det er snakk om. Lageret av karbon i treprodukter i Norge (bygninger, papir, avfall og lignende) er av SFT beregnet til å utgjøre i underkant av 11 Mt CO₂. Dette utgjør bare 5,7 promille av samlet lager i hele skogøkosystemet. Når vi kun ser på størrelsen av karbonlagrene, er altså lageret i treprodukter i dag nærmest ubetydelig sammenlignet med lageret i skogene, og spesielt jordsmonnet. I klimasammenheng er den årlige netto endringen i disse lagrene viktigere enn selve lagerstørrelsen. Også på dette området har SFT fått utført beregninger. Hvert år tilsvarer netto økning av karbonlageret i treprodukter ca. 0,5 Mt CO₂, mens tilsvarende økning for skog tilsvarer 14-17 Mt CO₂, det vil si ca. 30 ganger høyere. Årlig forbruk av tømmer i treprodukter i Norge tilsvarer ca. 9 Mt CO₂ (justert for import/eksport). Selv med usikkerhet i tallene gir dette en meget lav lagringseffektivitet for karbon. Kun 5-6 prosent av årlig tilført karbonmengde fra tømmerstokken finnes igjen som netto årlig økning i lagret karbonmengde i treproduktene. At det er så liten økning i lageret av treprodukter, kommer av den korte levetiden for papirprodukter, riving av eldre bygninger, nedbrytning av avfall og annet. For å øke skogens rolle i klimasammenheng er det derfor viktig å bidra til å øke lagringstiden for skogprodukter. I denne sammenheng er den korte levetiden for papir et stort problem. Ca. 50 % av tømmeret går til papirproduksjon, og gjennomsnittlig levetid for papir er ikke mer enn et drøyt år. Utover dette ligger det et stort potensial i produktutvikling av mer varige produkter, og produkter som kan erstatte varer som betong, stål og aluminium. Problemet med sistnevnte gruppe er store utslipp av CO₂ under produksjon.

[Noen av punktene i denne NOUen er omdiskutert i noen fagmiljøer]

Petersen og Solberg 2002a

Studieobjekt:	Gulv
Mål:	Sammenligne ulike typer gulvkonstruksjoner
Funksjonell enhet:	1 m ² gulv, 45 år
Livssyklusfaser:	Råvareutvinning til avfallshåndtering
Om studien:	Rapport fra skogforskningen finansiert av Det norske skogselskap, Utviklingsfondet for skogbruket og Norges Forskningsråd utført ved NLH. Bakgrunnen for denne er den effekten trevirke kan ha i klimasammenheng som erstatning for andre materialer. To eksempler 1) gulvkonstruksjon i heltre eik sammenlignet med en gulvkonstruksjon i skifer (terminalbygningen på Gardermoen), 2) gulvkonstruksjon i heltre eik sammenlignet med linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid. Formålet har vært å 1) kartlegge energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til materialene i eksemplene, 2) beregne eventuelle sparte klimagassutslipp som følge av å bruke alternativer i tre og 3) hva dette koster per sparte tonn CO ₂ -ekvivalenter. Metodikken som er brukt kombinerer tradisjonell livsløpsanalyse og økonomisk investeringsteori.

Resultater:	<ul style="list-style-type: none">- Fremstillingen av gulvkonstruksjoner i tre krever 60 % mer energi, men forårsaker 65 % mindre klimagassutslipp, enn fremstilling av gulvkonstruksjoner i skifer.- Avfallshåndteringen kan være både fordelaktig og ufordelaktig for gulvkonstruksjoner i tre. I beregning av sparte klimagassutslipp er derfor forutsetningene om avfallshåndtering viktige. Andre forutsetninger som er viktige for resultatene, er om karbonbindingen på det frigitte skogarealet regnes med, og hvilket rentekrav som legges til grunn.- Sparte klimagassutslipp per m³ trevirke som brukes i en slik gulvkonstruksjon kan være opptil 1,263 tonn CO₂-ekvivalenter. Det er en del usikkerhet i estimatet, spesielt for skifer.- I sammenligningen mellom heltre og ulike gulvbelegg er det klart at prisen per spart tonn CO₂-ekvivalenter er meget høy for substitusjon mellom heltre og linoleum eller vinyl.- Heltre er et rimeligere alternativ enn teppe i ull og teppe i polyamid ved lave rentekrav, slik at sparte klimagassutslipp er gratis.- Teppe i ull er en kostnadseffektiv måte å spare klimagassutslipp på også ved høye rentekrav.- Sett i forhold til hvor mange m³ trelast som brukes som gulvbelegg, kan det spares klimagassutslipp når trevirke erstatter vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.
--------------------	---

Petersen og Solberg 2002b

Studieobjekt:	Bjelker i bærende konstruksjon
Mål:	Besparelser i klimagassutslipp ved bruk av bjelker i limtre istedenfor stålbjelker i en bærende konstruksjon
Funksjonell enhet:	1 m ² tak
Livssyklusfaser:	Alle klimagassutslipp over livsløpet til materialene ble inkludert, fra hogst eller utvinning av malm til avfallshåndtering
Om studien:	Journalartikkel med referee. LCI-analyse. Terminalbygget på Gardermoen

Resultater:

- Det er mange ukjente faktorer i slike analyser, men gitt de mest sannsynlige forutsetningene, viser resultatene at bjelker i stål krever mer energi og forårsaker større klimagassutslipp enn limtrebjelker.
- Tidsaspektet, avfallshåndtering, karbonbinding på frigitt skogareal, malm-basert eller skrapjernsbasert stålproduksjon og energikilde i stålproduksjonen er de forutsetningene som betydde mest for resultatene.
- Produksjon av stålbjelker trenger dobbelt så mye energi som produksjon av limtrebjelker.
- Produksjon av limtrebjelker forårsaker 1/5 av drivhusgassutslippene sammenlignet med produksjon av stålbjelker.
- Avfallshåndtering av begge materialer kan enten gi eller forbruke energi. Derfor avhenger forskjellen i energiforbruk gjennom livssyklus mellom stål- og limtrebjelker av hvordan materialene er håndtert etter riving.
- Videre viste analysen at limtre ikke kan være mer enn 1-6 % dyrere enn stål uten at prisen per tonn sparte klimagasser blir høy sammenlignet med den norske CO₂-avgiften på bensin. I denne studien var imidlertid limtre rimeligere enn stål.

Petersen og Solberg 2002c

Studieobjekt: Limtredragere

Mål: Den indirekte effekten trevirke har i klimasammenheng som substitutt for stål

Funksjonell enhet: 1m² takflate, 50 år

Livssyklusfaser: Fra utvinning av råmaterialer til avfallshåndtering

Om studien: Rapport fra skogforskningen finansiert av Det Norske skogselskap, Utviklingsfondet for skogbruket og Norges Forskningsråd, utført ved NLH. LCI og inventeringsteori. Studerte den indirekte effekten trevirke har i klimasammenheng som substitutt for stål. Formålet var å se på hvor stor denne effekten er, hvor stor usikkerheten er og å vurdere dette opp mot eventuelle merkostnader. Case-studie med utgangspunkt i limtredragere i terminalbygningen på Gardermoen. I denne rapporten har de konsentrert seg om usikkerhet i forutsetninger og hva forutsetninger vedrørende produksjon og systemgrenser betyr for resultatet. Hva er energiforbruket over livsløpet til limtre og stål?

Hva er klimagassutslippene over livsløpet til limtre og stål? Hvor store klimagassutslipp kan spares ved at limtre substituerer stål, og hva koster dette? Med klimagasser inkluderer de CO₂, CH₄ og N₂O. Undersøkelsene tar ikke opp andre miljøpåvirkninger knyttet til produktene. Energiforbruk og klimagassutslipp fra råvareutvinning, produksjon og avfallshåndtering er kvantifisert, mens trinnene bygging, bruk og riving er ansett for å være like for de to materialene.

Resultater:

- Valg av forutsetninger har stor betydning for resultatene.
- Produksjon av stålbjelker trenger dobbelt så mye energi som produksjon av limtrebjelker.
- Avfallshåndtering av begge materialer kan enten gi eller forbruke energi. Derfor avhenger forskjellen i energiforbruk gjennom livssyklus mellom stål- og limtrebjelker av hvordan materialene blir håndtert etter riving.
- Produksjon av limtrebjelker forårsaker 1/5 av drivhusgassutslippene fra produksjon av stålbjelker.

- Avfallshåndtering av limtre kan redusere drivhusgassutslipp hvis limtre brennes og energien brukes til å erstatte fossil energi.
- Hvis limtre sendes til fyllplass, forårsaker det drivhusgassutslipp grunnet CH₄-dannelse fra anaerob nedbrytning. Dette siste alternativet er ikke sannsynlig hvis effekten av drivhusgasser viser seg å være drastisk. Det mest sannsynlige estimatet på netto drivhusgassemisjon er 45-57 kg CO₂-ekvivalenter per m² tak.
- Karbonfiksering på regenererte skogarealer, avfallshåndtering av materialer, malmbasert eller skrapbasert stålproduksjon og valg av diskonteringsrate er de viktigste faktorene. Til sammenligning påvirker ikke usikkerheten i inputdata resultatet mye.

Petersen og Solberg 2003

Studieobjekt:	Gulv
Mål:	Sammenligne to gulvkonstruksjoner på Gardermoen der det ene består av heltre eik og det andre består av naturstein
Funksjonell enhet:	1m ² gulv
Livssyklusfaser:	Produksjon av materialer til avfallshåndtering. 45 år og 90 år
Om studien:	Journalartikkel med referee. Forfatterne ser på energiforbruk og drivhusgassutslipp gjennom livssyklusen til de to konstruksjonene, kalkulerer forskjellene med hensyn til drivhusgassutslipp, kostnader og hvilke faktorer som har størst innflytelse på resultatet.
Resultater:	<ul style="list-style-type: none"> - Fremstilling av tregulvet krever 1,6 ganger mer energi og produserer 1/3 av drivhusgassutslippet sammenlignet med steingulvet. - Gjennom livsløpet kan netto utslipp av drivhusgasser bare unngås dersom tregulvet ved livsløpets slutt blir brukt til biobrensel. - Tregulvet må være konkurransedyktig på pris dersom det skal være et kostnadseffektivt tiltak mot global oppvarming. - Pr. m³ tregulv kan utslipp opp mot 1,263 tonn CO₂-ekvivalenter unngås ved å velge tregulv fremfor steingulv. - De faktorene som har mest betydning er karbonfiksering i skog, avfallshåndtering av trevirke og renten, sistnevnte reflekterer den relative betydningen over tid gitt til en enhet av drivhusgassutslipp.

Petersen og Solberg 2004

Studieobjekt:	Gulv
Mål:	Sammenligne ulike typer gulvkonstruksjoner
Funksjonell enhet:	1 m ² gulv, 45 år
Livssyklusfaser:	Råvareutvinning til avfallshåndtering
Om studien:	Journalartikkel med referee. Økt bruk av tre kan substituere mer energikrevende produkter og dermed bidra til langsiktig løsning på global oppvarmingsproblematikken. Målet med studien var å gi en empirisk studie av denne substitusjonseffekten, dens kosteffektivitet, og hvilke metodeforutsetninger som er viktigst for resultatene. Case-studie med sammenligning av ulike gulvmaterialer.

Resultater:

- Gulvmaterialer i heltre eik forårsaker lavere drivhusgassutslipp enn andre materialer. Forskjellen kan bli rangert i følgende rekkefølge etter deres potensial for reduksjon av drivhusgasser: teppe i ull, teppe i polyamid, vinyl og linoleum.
- Ved 2 % pro anno diskonteringssats er de unngåtte drivhusgassutslippene i tonn pr. brukte m³ av eik 0,1-1,9 for linoleum og 11,8-15,5 for teppe i ull.
- De forutsetningene som påvirker resultatet mest, er valgene av diskonteringssats, karbonfiksering på skogarealer og avfallshåndtering.
- Empiriske case-studier som dette indikerer reduksjoner i drivhusgassutslipp potensielt forårsaket ved substitusjon, men bør følges av dynamisk input/output-analyser og økonomiske studier.
- For å analysere flyten av CO₂ over tid bør de kobles til skogskjøtselmodeller.

Petersen og Solberg 2005

Om studiet:

Journalartikkel med referee. En "state of the art" oversikt over kvantitative analyser fra Norge og Sverige på LCA som sammenligner miljøeffekten ved substitusjon mellom tre og alternative materialer, med fokus på drivhusgassutslipp, økonomi og metoder.

Arbeidene tatt med i denne studien omhandler sammenligning av LCA-studier av treprodukter og konkurrerende materialer: Mørkved og Opdal 1990, Fossdal 1995, Jönsson et al 1995, Engelbertsson 1997, Björklund og Tillman 1997, Jarnehammer 1998, Engberg og Eriksson 1998, Kristensen 1999, Börjesson og Gustavsson 2000, Petersen og Solberg 2002a,b,c. For CO₂-sammenligning mellom tre og andre materialer: Björklund og Tillman 1997, Engelbertsson 1997, Engberg og Eriksson 1998, Jarnehammer 1998, Kristensen 1999, Nörjesson og Gustavsson 2000, Petersen og Solberg 2002a,b,c.

Resultater:

- I alle studiene referert til i denne oversikten er tre et bedre alternativ enn andre materialer med hensyn til drivhusgassutslipp.
- Videre forårsaker tre mindre utslipp av SO₂, og genererer mindre avfall sammenlignet med alternative materialer.
- Tre behandlet med trebeskyttelsesmidler kan på den andre siden forårsake en toksisk påvirkning på menneskers helse og på økosystemet.
- Når det gjaldt forsuring, overgjødning og bakkenært ozon, var resultatene varierende mellom studiene.
- Mengde drivhusgasser man sparer inn ved substitusjon mellom tre og stål er mellom 36-530 kg CO₂-ekvivalenter per m³ tilførsel av tre, avhengig av avfallshåndtering av materialene og hvordan karbonfiksering i skogarealet er inkludert. Ved substitusjon mellom tre og betong er dette tallet 93-1062 kg CO₂-ekvivalenter, forutsatt at tre ikke brukes som fyllmaterialer etter bruk.
- Pettersen og Solberg sier videre at mange LCA kan bli vesentlig forbedret hvis analysen blir gjort med flere alternative forutsetninger med hensyn til rammene for systemet brukt i LCA. Dette er viktig, ikke minst for å kartlegge hva som er hovedforutsetningene for de presenterte resultatene og for å sammenligne med andre studier.
- Det er også viktig å ta med i betraktningen tids-profilen til drivhusgassutslipp og andre effekter gjennom livssyklus. De skriver at det er overraskende at dette ikke er blitt tatt mer seriøst.

- Tre som bygningsmateriale er konkurransedyktig på pris i de studiene som inkluderer kostnader. Det er et svakt punkt i mange LCA at kostnader så vel som andre økonomiske aspekter som påvirker produktsubstitusjon ikke inkluderes, og det er en stor forskningsutfordring å kombinere tradisjonell LCA med økonomiske analyser for å gjøre begge mer relevante.

Pettersen og Solberg presenterer i tabellform:

- En sammenligning av litteratur på komparative studier av treprodukter og konkurrerende materialer (Appendiks 2).
- Besparelse av CO₂-ekvivalenter i kg pr. m³ rundvirke som brukes i produksjon av treprodukter som erstatning for andre materialer (Appendiks 2).

Raymer 2005

Om studien:

I sitt doktorgradsarbeid "Modelling and analysing climate gas impacts of forest management" ser Raymer på: sparte klimagassutslipp når tre brukes i stedet for mer energiintensive materialer og alternativer for fossilt brensel, hvilken skogbehandling man skal velge dersom man ønsker å øke netto karbonbinding og hva kostnadene er. Hovedmålet med studien var å se på hvordan skog og skogskjøtsel kan brukes til å redusere atmosfæriske konsentrasjoner av drivhusgasser, spesielt karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og nitrogenoksid (N₂O). For å gjøre dette, modellerte de hele karbonsyklusen, inkludert levende trær, døde trær, jord, treprodukter, materialsubstitusjon og energisubstitusjon. Dette ga mulighet til å studere nøkkelfaktorer, fra skogvekst til avfallshåndtering av skogindustriprodukter. Hun kombinerte bruk av LCA-analyser med skogbehandlingsmodeller.

Artikler og manus som inngår i graden:

Petersen og Solberg 2002b: Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: Beams at Gardermoen airport.

Petersen og Solberg 2005: Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden.

Raymer et al. 2005a: GAYA-J/C: A forest management optimisation model with a complete carbon flow account.

Raymer et al. 2005b: Optimal forest management and cost-effectiveness when increasing the carbon benefit from a forest area. A case study of Hedmark County in Norway.

Raymer et al. 2005c: Forest management and carbon benefit. A review of models and their applications.

(Raymer et al. 2005a)

Om studien:

Manus i doktorgradsavhandling. Raymer et al. beskriver GAYA-J/C modellen som ble utviklet for empiriske skogbehandlingsanalyser. Modellen inneholder informasjon og erfaringer basert på Petersen og Solberg (2002b).

Den nye versjonen GAYA-J/C omfatter kostnader, inntekter og alle de viktigste aspektene knyttet til opptak og utslipp av klimagasser fra skog og skogprodukter: Levende trær, dødt virke og strø, hogstavfall, jord, sluttbruk av skogprodukter og sparte klimagassutslipp fra bruk av trevirke i stedet for mer energiintensive materialer og fossilt brensel. Skogbehandling ble bestemt endogent i modellen.

- Resultater:**
- Modellen ble anvendt på en case-studie av Hedmark fylke for å vise at den var egnet til å kartlegge kostnadseffektivitet av ulik skogbehandling, og til å finne hvilken skogbehandling som er optimal. Modellen var basert på nåværende klima, men klimaendringer kan inkluderes dersom den kombineres med en passende prosessbasert modell.

Raymer et al. 2005b

Om studien: Manus i doktorgradsavhandling. Bruker GAYA-J/C for å finne optimal skogbehandling og kostnadseffektivitet dersom man ønsker å øke opptak av CO₂ og sparte klimagassutslipp fra bruk av treprodukter i Hedmark fylke.

- Resultater:**
- I én analyse var det ingen restriksjoner på avvirkningsnivå, i en annen var det forutsatt at avirkningen ikke avtar gjennom planleggingsperioden.
 - Tradisjonell nåverdi av skogarealet avtok gradvis ettersom klimagasseffekt ble gitt mer vekt.
 - Tiltak i skog ga en årlig effekt gjennom hele planleggingsperioden sammenlignet med tiltak i andre sektorer som ofte ga en engangseffekt i et bestemt år.
 - Raymer et al. fant at økning i klimagasseffekten fra skogarealet kan foretas til en lav kostnad. Når klimagasseffekt ble tillagt mer vekt, var det optimalt med lavere hogstfrekvens og mindre tynning og ungskogpleie. I tillegg var det optimalt å avvirke glisne bestand med lavere skurtømmerandel.
 - En større andel av de avvirkede arealene plantes istedenfor å forynges naturlig. Alt dette fører til høyere stående volum og mer skog.
 - Å inkludere sparte klimagassutslipp fra bruk av trevirke har stor innvirkning på nåverdi av karbonflyt fra skogarealet. Virkning på optimal skogbehandling var mindre reduksjon i hogst, tynning og ungskogpleie, i tillegg til enda mer planting.
 - Viktige faktorer for resultatene er rentekrav, sparte klimagassutslipp fra bruk av trevirke og trærnes vekst. Årlig produksjon, avgang av strø og valg av jordmodell hadde mindre betydning.

Raymer et al. 2005c

Om studien: Manus i doktorgradsavhandling. (Raymer, Gobakken et al. 2005c) gir en kritisk oversikt over case-studier og modeller som har inkorporert CO₂-fiksering og klimagassutslipp ved modellering eller analysering av skog og skogbehandling.

Modellene i litteraturgjennomgangen er utviklet for å brukes på enten bestandsnivå eller områdenivå, og de er enten simulerings- eller optimaliseringsmodeller.

- Resultater:**
- Gjennomgangen viste at en svakhet ved mange eksisterende modeller er at kostnader og inntekter fra skogproduksjon ikke er inkludert.
 - Studien til Raymer et al. avdekket også et behov for å finne kostnadseffektiviteten og marginale kostnader ved endringer i skogbehandling eller arealbruk, i tillegg til å finne hvilken skogbehandling som er optimal med ulike formål for skogarealet. Dette kan ifølge Raymer et al. bare gjøres med optimaliseringsmodeller.
 - Andre viktige faktorer som de mener bør tas med i slike analyser, er følsomhetsanalyser og sparte klimagassutslipp når trevirke brukes istedenfor mer energiintensive materialer eller fossile brenslere. Så mange som mulig av de delene av karbonsyklusen som betyr noe, oppfordres til å tas med.

Raymer 2006

- Studieobjekt:** Tre som energi
- Mål:** Drivhusgassutslipp fra ulike typer tre som energikilde
- Funksjonell enhet:** Ved, sagflis, bark og rivingsvirke, energi per m³; pellets og briketter, energi per tonn
- Livssyklusfaser:** Råvareuttak til forbrenning
- Om studien:** Journalartikkel med referee. I denne studien ble mikronivådata fra tre energiprodusenter i Hedmark fylke samlet og analysert. Målet med studien var å finne hvor mye drivhusgassutslipp energi fra ulike typer tre forårsaket (ikke bare CO₂, men også CH₄ og N₂O), hvilken energi de substituerte, deres potensial i å redusere drivhusgassutslipp, og hovedkilden til usikkerhet. LCA. Energi fra seks trerelaterte materialer ble studert: ved, sagflis, pellets, briketter, rivingsvirke og bark.
- Drivhusgassutslipp gjennom livssyklus for denne type studier er 2-19 % av utslippene fra sammenlignbare energikilder. De laveste tallene er for rivingsvirke som substitusjon for olje i store forbrenningsanlegg, de høyeste for ved brukt i boliger som erstatning for elektrisitet produsert fra kull.
- Resultater:**
- Tre som energikilde ga en besparelse i drivhusgassutslipp på 0,210 til 0,640 tonn CO₂-ekvivalenter pr. m³ tre.
 - Relatert til GWh energi produsert var besparelse av drivhusgassutslipp fra 250 til 360 tonn CO₂ ekvivalenter. Den viktigste faktoren var type teknologi brukt til forbrenning, hvilken energi som ble substituert, tetthet og varmeverdier. Inndata med hensyn til høsting, transport og produksjon av treenergi var ikke viktig.
 - Alt i alt, usikkerhetene tatt i betraktning, er det ikke store forskjeller i besparelse av klimagasser for de ulike treenergiformene.

Sathre og Gustavsson 2006

- Om studien:** Journalartikkel med referee. Analyserte energi- og karbonbalansen av ulike sekundærkjeder for gjenvinning av tre. Ulike etterfølgende gjenvinningsmuligheter var gjenbruk av tre, repressering som sponplater, masse til papirprodukter og brenning for å utvinne energi. De sammenlignet energi- og karbonbalansen i kjeder av sekundærprodukter med balansen av produkter av fiber fra jomfruelig skog eller fra ikke-trematerialer. De beskrev og kvantifiserte flere mekanismer hvor sekundærproduksjon kan påvirke energi- og karbonbalansen: direkte sekundær effekt grunnet ulike egenskaper og logistikk av jomfruelig og gjenvunnet materiale, substitusjonseffekt grunnet ulik arealutnyttelse når mindre tømmer trengs på grunn av sekundærbruk av tre. I noen analyser antar de at skogen er en begrensende ressurs, og i andre inkluderer de en gitt mengde skogareal som biomasse som kan høstes for bruk til materialer eller biobrensel. Energi- og karbonbalansen tar hensyn til produksjonsprosessen, gjenvinning og transportenergi, materialgjenvinningstap, og skogprosesser.
- Resultater:**
- Arealbrukeffekter har størst innvirkning på energi- og karbonbalansen, fulgt av substitusjonseffekt, mens direkte sekundæreffekt er relativt liten.

Sathre og Gustavsson 2007

- Om studien:** Journalartikkel med referee. Bygningsmaterialer og to like hus med tre og betong. Forholdet mellom konkurranseevnen til bygningsmaterialer og økonomiske verktøy for klimaendring er utforsket i denne "bottom-up" studien. Effekten av karbon- og energiavgifter på produksjonskostnader av bygningsmaterialer og

totale kostnader av bygningskonstruksjoner er modellert ved å analysere individuelle materialer så vel som sammenligning av bygninger med bærekonstruksjon av tre og betong. Energibalansen for produksjon av byggematerialer laget av tre, betong, stål, og gips er beskrevet og kvantifisert. For tømmer er mer utnyttbar energi tilgjengelig som biomasserester enn det som konsumeres i prosesseringstrinnene. Mengden av biodrivstoff som er gjort tilgjengelig gjennom produksjon av trematerialer er kalkulert, og kostnadsdifferansen mellom å bruke disse biodrivstoffene og bruk av fossilt brensel er vist under ulike avgiftsregimer.

Resultater:

- Produksjon av bygningsmaterialer i tre krever mindre energi enn produksjon av andre bygningsmaterialer som stål og betong.
- Bruk av trebaserte materialer resulterer i biomassebiprodukter fra for eksempel hogst, videreforedling, bygging og riving, som kan brukes som biobrensel.
- Energibalansen for treprodukter er negativ, det vil si at mer utnyttbar energi er produsert i form av biobrenselbiprodukter enn det som trengs for produksjon av materialer.
- I en sammenligning av to tilsvarende bygninger med bærekonstruksjon i tre- og forsterket betong, var energikostnaden for materialproduksjon henholdsvis 1,3 og 1,7 % av den totale konstruksjonskostnaden, ved energipriser og industriavgifts nivå fra 2004.
- Høyere avgifter på karbonutslipp og fossilt brensel fører til økt økonomisk konkurransevne for trekonstruksjoner. Dette skyldes både lavere energikostnader ved produksjon av trematerialer, og økt økonomisk verdi av biomassebiprodukter brukt for å erstatte fossilt brensel.
- Den totale energien og avgiftskostnaden er høyere for betong enn for tre i alle energiavgiftsregimene.

Seppala et al. 1998

Studieobjekt:

Finlands skogindustri

Mål:

- 1) vurdere miljøeffekten av Finlands skogindustri og dens livssyklustrinn,
- 2) identifisere behov for miljøforbedringer i skogsektoren de neste 10 årene,
- 3) vurdere miljøpolitiske virkemidler for å bedre bærekraftig utvikling i skogsektoren.

Funksjonell enhet:

Hele den årlige produksjonen til Finlands skogindustri

Livssyklusfaser:

Skog til produkt

Om studien:

Journalartikkel med referee. LCA av Finlands skogindustri. Behov for å vurdere miljøeffekten og å identifisere behov og muligheter for miljøforbedringer i skogsektoren. Utviklet nye metoder sammenlignet med den tradisjonelle produktrelaterte LCA, fordi dette er en studie av hele produksjonssystemet til den mekaniske og kjemiske skogindustrien i Finland. Områder for å forbedre beskyttelse av miljøet i skogsektoren for 2005 ble identifisert på basis av kartlegging (utslipp, avfall etc), miljøeffektvurdering og andre tilgjengelige data.

Resultater:

- Det ble utviklet nye prosedyrer for å bestemme påvirkningsgrad tilpasset det aktuelle lands spesifikke systemer.
- Selv om de prioriterte faktorene ikke var sterkt rangert mot hverandre, konkluderes det med at bevaring av biodiversitet og bedring av energi-effektivitet er nøkkelfaktorer for miljøhensynet i den skoglige sektoren.

- Før detaljert rangering av utslipp og andre faktorer må man få bedre data, bedre forståelse av faktorenes effekt og enighet om viktigheten av ulike miljøproblemer.

Strömberg 2004

Studieobjekt: Utvendig kledning

Mål: Sammenligne overflatebehandling for utvendig kledning

Funksjonell enhet: 1 m² maling på utvendig kledning i 50 år

Livssyklusfaser: Produksjon av råvarer til avfallshåndtering

Om studien: Journalartikkel med referee. Så på overflatebehandling for utvendig trekledning: løsemiddelbasert alkyd overflatebehandling, vannbasert akryl overflatebehandling, vannbasert akryl beis, løsemiddelbasert alkyd beis og alkyd olje. Vedlikeholdsintervaller var basert på råd fra produsent og resultater fra testeksponering.

- Resultater:**
- Miljøpåvirkningen av ulike behandlinger på utvendig kledning er avhengig av levetiden.
 - Vannbasert akryl overflatebehandling og vannbasert akryl beis var de beste valgene med hensyn til levetid og holdbarhet.
 - Påføring og tørking er den viktigste fasen, og påvirker total miljøeffekt. (Gjelder manuell påføring av løsemiddelbaserte systemer)
 - Det opplyses at grunnet vektning i analysen kan konklusjonen for de ulike scenarioene diskuteres. ISO 14042 anbefaler ikke vektning.

Thormark 2000

Studieobjekt: Eneboliger

Mål: Totalt energiforbruk og potensiell energi spart ved resirkulering

Funksjonell enhet: 100 år

Livssyklusfaser: Fra produksjon til resirkulering

Om studien: Journalartikkel med referee. Mange bygninger rives fordi de står på feil sted, ikke fordi de er teknisk utbrukt.

Simulerte eneboliger med ulike konstruksjoner i Sverige:

1. tømmer med mineralullisolering
2. tømmer med celluloseisolering
3. Lettbetong
4. Teglstein

129 m² boligareal og isolert etter svenske bygningsstandarder. Driftskostnadene ansees som like, og er ikke tatt med. Studerte maksimal resirkulering og maksimal resirkulering av materialer. De åtte materialgruppene som ble inkludert utgjorde 96 % av bygningens totalvekt.

- Resultater:**
- Resultatene viste blant annet at det kan være viktigere å konstruere en bygning for resirkulering enn å bruke materialer som krever lite energi å produsere.
 - Ved å tilpasse konstruksjonen for resirkulering kan minst 50 % av energi brukt til produksjon spares ved resirkulering. Dette er spesielt viktig når energiintensive materialer brukes.

- Fundamentet stod for hoveddelen av energien gjennom produksjonen, 34-47 %

Resirkuleringspotensial for energi som kreves til produksjon, bygging, vedlikehold, riving og transport:

Type materialer	Maksimal gjenbruk (%)	Maksimal resirkulering av material (%)
Tømmer/mineralull	49	38
Tømmer/cellulosefiber	51	43
Lettbetong	47	26
Teglstein	56	21

Thormark 2002

Studieobjekt:

20 leiligheter i fire toetasjers rekkehus

Mål:

Analysere resirkuleringspotensial til et lavenergihus i Sverige, og relatere resirkuleringspotensialet til energibruk i produksjon og bruk av bygningen

Livssyklusfaser:

Produksjon av bygningsmaterialer, transport til byggeplass, vedlikehold og drift

Om studien:

Journalartikkel med referee. Resirkulering ble delt inn i tre former: gjenbruk, materialresirkulering i åpen eller lukket sløyfe og forbrenning. Levetiden ble estimert til 50 år. Vedlikehold basert på anbefalinger for denne typen bygg, med utgangspunkt i tekniske, økonomiske og estetiske behov. Bundet energi utgjør en stor andel av den totale energien i lavenergibygg. Resirkulering gir en mulighet til å redusere bundet energi ved å bruke resirkulerte materialer og gjenbruke/resirkulere materialer/komponenter.

Resultater:

- Ved et livsløp på 50 år utgjør bundet energi 45 % av den totale energien i lavenergibygg.
- Resirkuleringspotensialet var mellom 35 % og 40 % av den bundede energien.

Thormark 2006

Studieobjekt:

20 leiligheter i fire toetasjers rekkehus

Mål:

Undersøke energieffektive boliger i Sverige, i hvilken grad bundet energi så vel som resirkuleringspotensial, påvirker enkel materialsubstitusjon

Livssyklusfaser:

Produksjon av bygningsmaterialer, transport til byggplass, vedlikehold, drift og resirkulering

Om studien:

Journalartikkel med referee. (Thormark 2006) skriver at å minimalisere bruken av energi er en sentral oppgave for en bærekraftig bygging. Å minimalisere bruken av naturressurser og maksimere gjenbrukspotensialet er andre viktige oppgaver som må vurderes. I lavenergibygg bidrar den bundede energien til en vesentlig del av den totale energibruken i bygningen. Derfor er det viktig å være oppmerksom på valg av bygningsmaterialer. Artikkelen viser hvordan materialvalg kan påvirke både bundet energi og resirkuleringspotensialet i et av de mest energieffektive rekkehusprosjektene i Sverige (kalkulert energi for drift er 45 kWh/m² gulvareal per år). Total energibruk i et livssyklusperspektiv inkluderer energibehov både for operasjonell og bundet energi. Uttallige studier i det internasjonale samfunnet har vist at operasjonell energi står for hovedmengden av den totale energibruken i boliger gjennom en stipulert levealder på 50 år; omtrent 85-95 % av den totale energibruken. Energibehovet i bruksfasen kan reduseres betydelig ved forbedringer når det gjelder isolering, tekniske løsninger etc. Studier av lavenergihus viser at bundet energi kan telle for så mye som 40-

60 % av den totale energibruken.

- Resultater:**
- Ved å velge andre materialer kan den bundne energien reduseres med omtrent 17 % eller økes med 6 %.
 - Det er ikke nok å konkludere med at et materiale er gjenbrukbart, men også formen for gjenvinning og hvordan det blir klargjort for demontering må oppgis.
 - For å fremme reduksjon av bundet energi og øke potensialet for gjenbruk, må det legges vekt på å utvikle nye konstruksjoner når det gjelder materialer og utforming av sammenføyninger.

Wessman et al. 2002

Om studien: Oppsummerer i rapporten under prosjekt 2-5 i Nordic Industrial Fund – prosjektet "LCA: Mark och Geografi".

Resultater: Arealbruk- og skogbruksaspektene i LCA er kompliserte problemstillinger pga. skogens dynamiske natur. Det er derfor vanskelig å finne passende indikatorer for endringer i skogen pga. dynamikken i skogen og også mangel på data. En mulig løsning er å modellere karbon- nærings- og energiflyt som inkluderer skogbruk og skogproduksjon i LCI uten å bruke spesifikke indikatorer. Modeller er under utvikling, spesielt med hensyn til karbon og nitrogen, men det er fortsatt mangel på data som beskriver næringsflyten i skogen. Så langt har man ikke brukt LCA. Det blir foreslått å bruke landskaps-relaterte indikatorer for biodiversitet. Overvåkingsopplegg for skogbruksaktivitet er den viktigste kilden til brukbare data. Indikatorer som beskriver sosiale og økonomiske verdier for et bærekraftig skogbruk, er vanskelig å tilpasse til LCA-kalkuleringer uten videre utvikling av LCA-metodene. Det er mulig å bruke noen av de skogbruks-spesifikke indikatorene i "Corporate Sustainability Reporting". Data som beskriver disse indikatorene er av god kvalitet, og er enkle å finne i offentlig statistikk for Finland, Sverige og Norge.

Wessman et al. 2003

Om studien: Artikkel i Paper and Timber.

- Resultater:**
- Det er vanskelig å finne passende sett med indikatorer som beskriver endringer i skogen.
 - Modellering av karbon-, nærings- og energiflyt som inkluderer avvirkning og vekst av skog i LCI kan være en løsning for å unngå å bruke spesifikke indikatorer.
 - For biodiversitet foreslås det landskaps-relaterte indikatorer.
 - Observering av avvirknings-opplegg er den viktigste kilden til brukbare data.
 - Det er vanskelig å beskrive indikatorer for sosioøkonomiske verdier for et bærekraftig skogbruk som passer i LCA uten at LCA-metodene utvikles videre.

Andre europeiske studier referert i de siterte litteraturstudiene:

Graulich 2001

Graulich fra Faghøyskolen i Lübeck gjør i sitt diplomeksamensarbeid en sammenligning av et teglhus (referansehus) og et trehus i form av en livsløps-vurdering av ulike materialtyper. "Ökobilanz"-metoden blir benyttet. To scenarioer blir vurdert for begge hustypene; en "worst-case" og en "best-case" når det gjelder bruk av miljøskadelige stoffer. Formålet med studien er å få

grunnlag for å velge den beste løsningen med tanke på miljøet ved husbyggingen.

Quack 2001

Quack gjør en sammenligning av tomannsboliger med "lavenergistandard". Quack bruker "Ökobilanz"-metoden med hjelp av programmet ECOPRO. Konklusjonen er at bruksfasen har mest å si for energibruken i et livsløpsperspektiv. Elektrisk oppvarming kom dårligst ut når det gjelder ulike energikilder.

Trusty og Meil 1999

The Canadian Wood Council var oppdragsgivere for arbeidet til Trusty og Meil 1999. De sammenligner tre eneboliger med resiverk i henholdsvis tre, stål/metall og betong. De øvrige bygningsmaterialene og teknikkene var de samme for de utvalgte bygningene. Husene ble ansett å være like, og tilfredsstilte byggestandardene. Miljøeffektindikatorerne brukt i dette studiet var bundet energi, global oppvarmingspotensial, vannforurensingsindeks, vektet ressursbruk og fast avfall.

Resultatet fra miljøvurderinger av tre eneboliger er vist i tabellen under som et totalt bidrag til en effektkategori eller fordelt på ulike bygningskomponenter. Totalt bidrag i alle effektkategorier har også blitt samlet i tabellen. Resultatene viser at bygninger med bærekonstruksjon i tre har lavest bidrag til fem av seks effektkategorier. Bare for fast avfall-kategorien har stål lavere verdi enn tre.

Globalt oppvarmingspotensial for ulike bygningskomponenter, kg CO₂-ekvivalenter. Fra Norén og Jarnehammar 2002 basert på Trusty og Meil 1999:

	Tre (kg CO₂-ekv.)	Metall (kg CO₂-ekv.)	Betong (kg CO₂-ekv.)
Grunnmur	6160	6160	3436
Vegger	25599	31263	33009
Gulv	8785	17294	27441
Søyler og bjelker	8688	6929	15099
Yte	12831	12309	13941
Basismaterialer	120	2498	647
Totalt	62183	76453	93573

Sammenligning av miljøeffektene for tre bygninger. Fra Norén og Jarnehammar 2002 basert på Trusty og Meil 1999:

Effektkategori	Tre	Metall	Betong
Bundet energi, GJ	255	389	562
Global oppvarmingspotensial, kg CO ₂ -ekv.	62183	76453	93573
Luftforurensning, mål for kritiskvolum	3236	5628	6971
Vannforurensning, kritisk volum mål	407787	1413784	876189
Vekt ressursbruk, kg	121804	138501	234996
Fast avfall, kg	10746	8897	14056

Scharai-Rad og Welling 2002

I den svært omfattende studien til Scharai-Rad og Welling sammenlignes energi- og miljøbalansen til treprodukter med produkter av andre materialer ved hjelp av LCA. Produktgruppene de studerte var: eneboliger, enkle store bygninger, vindusrammer og gulvmaterialer [også uthus var med i studien, men ikke nevnt av Norén og Jarnehammar]. LCA-analysene til disse produktene var basert på data samlet inn fra ulike energi- og LCI-studier. Norén og Jarnehammar presenterer i sin rapport kun dataene fra studien av eneboliger (råbygg).

Studien inkluderer produksjonsfasen, inkludert bygging av huset, og avfallsbehandling ved endt bruk. Effektkategoriene var global oppvarming, forsuring, eutrofiering og fotokjemisk ozondannelse. To studieobjekter ble analysert for å sammenligne de ulike bygningene: A. ingen termisk utnyttelse av treavfall, B: Termisk utnyttelse av treavfall.

Resultatet av analysen viste at energiutnyttelse av tre og trebaserte materialer vil redusere miljøeffekten. Dette ble funnet for alle effektkategoriene.

Krogh et al. 1998

Så på miljøvurdering av et bygningssystem (CASA NOVA) for fleretasjes trebygninger og et vanlig bygningssystem for komponenter av betong, f. eks. vegger og gulv. En vurdering er også gjort for en svensk trebygning. Livssyklusfasene inkluderer utnytting av ressurser, produksjon av bygningsmaterialer, byggeplass og transport. Resultatene presenteres som miljøprofiler for 1m² av de ulike elementene i bygningssystemet. Resultatene viser generelt en lavere miljøeffekt for bygningskomponenter laget av tre.

APPENDIKS 2

A.K. Petersen, T. Gobakken, B. Solberg / Manuskript i doktorgradsavhandling av A.K.P. Raymer 2005

Tabell 1. En oversikt over bestandsnivå-modeller for karbomomsetning i skog.

Litteratur	Lokalitet	Simulerings- periode	Skogskjøtsels-opsjoner	Fremtidig klima	Jordbruksland	Trær	Undervegetasjon	Jord	Strø og nedfall	Hogstfall	Død ved fra naturlig avdøing	Treprodukter	Energisubstitusjon	Materialsubstitusjon	treprodukter	produksjon av	Utslipp fra produksjon	transport	Utslipp fra hogst og
Lunnan et al. (1991) Utgitt på engelsk av Solberg & Hoen (1996)	Norge	40 år	Skogplanting, gjødsling av skog, utsatt hogst, større tetthet ved skogfornyelse, grøfting av torvmark og dårlig drenert skog, gjentatt grøfting, økt bruk av bioenergi	Nåværende klima	X	X				X	X	X	X						
Karjalainen (1996a)	Finland	200 år	Ingen skjøtsel	Nåværende klima Klimaendringer (temperatur, nedbør)		X	X	X	X		X								
Karjalainen (1996b)	Finland	150 år	Naturlig gjenvækst Tynning og snauhogst basert på bestandsegenskaper	Nåværende klima Klimaendringer (temperatur, nedbør)		X	X	X	X		X	X							
Karjalainen (1996c)	Finland	300 år	Naturlig gjenvækst Tynning og snauhogst basert på bestandsegenskaper	Nåværende klima Klimaendringer (temperatur, nedbør)		X	X	X	X		X	X							X
Schlamadinger & Marland (1996)	Sydøst USA eller Vest-Europa	100 år	Skogplanting Snauhogst	Nåværende klima		X		X	X			X	X	X					
Bateman & Lovett (2000)	Wales	1000 år	Fast tynningsprogram og omløpstid	Nåværende klima		X		X		X		X							
Liski et al. (2001)	Finland	300 år	Fast omløpstid 60, 90, eller 120 år Planting	Nåværende klima		X		X			X	X				X			X
Seely et al. (2002)	British Columbia, Canada	300 år	Snauhogst og planting/naturlig gjenvækst, fast omløpstid	Nåværende klima		X	X	X	X	X		X							
Masera et al. (2003)	Sentral-Europa, Europeisk Atlanterhavs- sone, Sentral- og Syd- Mexico, Costa Rica, en nedbrutt tropisk regnskog	100-300 år	Snauhogst, fast omløpstid Plukkhogst, faste intervaller	Nåværende klima		X		X		X	X	X							
Paul et al. (2003a)	Australia	40 år	Plantasje, skogplanting	Nåværende klima		X		X	X										
Raymer et al. (2005)	Norway	150 år	Planting (antall planter fra 800- 4000 pr. ha), fri tynning, tynning, snauhogst ¹⁾	Nåværende klima		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X

¹⁾ Optimalt antall planter pr. ha, tidspunkt og forekomst av fri tynning, tynning og alder ved hogst, beregnet av modellen

Tabell 2. En oversikt over lagret karbon etter ett bestandsomløp

Litteratur	Skogskjøtsel	Opprinnelig tilstand	Treslag	Lokalitet	Lager av C ved slutten av første omløp, forandring fra år 0 (tonn C pr. ha)							
					Trær	Strø og nedfall	Undervegetasjon	Treprodukter	Jord	Energi- substitusjon	Material- substitusjon	Sum forandring
Schlamadinger & Marland (1996)	Skogplanting	Jordbruksland		Vest-Europa/Sydvest USA	140	15			15			170
	Snauhogst	Hogstmoden skog		Vest-Europa/Sydvest USA	110	0		5	0	30	40	185
	Kort omløpstid	Jordbruksland		Vest-Europa/Sydvest USA	50	-0			-0	15 ³⁾		70
	Kort omløpstid	Hogstmoden skog		Vest-Europa/Sydvest USA	40	0		60	0	60 ⁴⁾		160
	Snauhogst	Behandlet hogstmoden skog		Vest-Europa/Sydvest USA	90	0		10	0	30 ⁴⁾		130
Liski et al. (2001)		Ingen trær	Furu	Finland	80			0	-25			55
Seely et al. (2002)	Snauhogst, hele trær	Ubehandlet skog	<i>Populus tremuloides</i>	British Columbia, Canada	110	-55	0		0			55
	Snauhogst, bare stammer	Ubehandlet skog	<i>Picea glauca</i>	British Columbia, Canada	135	-85	0		5			55
	Snauhogst, bare stammer	Ubehandlet skog	<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i>	British Columbia, Canada	150	-85	0		-5			60
Masera et al. (2003)	Snauhogst	Ingen trær	Gran	Sentral-Europa	130			10	0 ¹⁾			140
	Snauhogst	Ingen trær	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Europeisk Atlanterhavskyst	125			10	20 ¹⁾			155
	Plukkhogst	Fleraldret skog	<i>Fagus sylvatica</i> <i>Pinus</i> spp.	Høylandet i sentral- og syd-Mexico	100			20	50 ¹⁾			170
	Plukkhogst	Fleraldret skog	<i>Cordia alliodora</i> <i>Erythrina poeppigiana</i> <i>Coffea</i> sp.	Costa Rica	170			0	60 ¹⁾			230
	Plukkhogst	Nedbrutt tropisk regnskog	Tradisjonelle og potensielt lønnsomme treslag, pionérer	Costa Rica	-10			0	-55 ¹⁾			-65
Paul et al. (2003a)	Plantasje	Beitemark	<i>E. globulus</i>	Vest-Australia, lav nedbør sone	237 ²⁾	7 ³⁾			14			258
	Plantasje	Beitemark	<i>E. globulus</i>	Vest-Australia, høy nedbør sone	551 ²⁾	12 ³⁾			20			583
	Plantasje	Beitemark	<i>P. radiata</i>	Syd-Australia	202 ²⁾	10 ³⁾			14			226
	Plantasje	Beitemark	<i>E. grandis</i>	Queensland og New South Wales, Australia	392 ²⁾	12 ³⁾			-8			396
	Plantasje	Beitemark	<i>P. radiata</i>	Capital Territory og New South Wales, Australia	170 ²⁾	8 ³⁾			7			185
	Plantasje	Beitemark	<i>E. globulus</i>	Victoria, Australia	431 ²⁾	12 ³⁾			-12			431
	Plantasje	Beitemark	<i>E. nitens</i>	Tasmania, Australia	326 ²⁾	10 ³⁾			-15			321

¹⁾ Inkludert død ved samt strø og nedfall

²⁾ Inkludert lagring i treprodukter

³⁾ Karbonutslipp som unngås på grunn av innsamlet tømmer etter første omløp

⁴⁾ Total erstatningseffekt for energi og produkter

Tabell 3. En oversikt over simuleringsmodeller for karbonomsetning i skog på regionalt nivå.

Litteratur	Lokalitet	Simuleringsperiode	Skogskjøtsels-opsjoner	Fremtidig klima	Jordbruksland	Trær	Undervegetasjon	Jord	Strø og nedfall	Hogstavfall	Død ved fra naturlig avdøing	Treprodukter	Energi substitusjon	Materialsubstitusjon	treprodukter	Utslipp fra produksjon av	Utslipp fra hogst og transport
Price et al. (1997)	Alberta, Canada	1953-2238	Konstant avvirkningsnivå, naturlige forstyrrelser	Nåværende klima		X		X	X	X		X					
Pussinen et al. (1997)	Finland	1990-2100	Kriterier for aktuell skogskjøtsel	Nåværende klima Klimaendring (temperatur, nedbør)		X	X	X	X	X	X	X					
Shvidenko et al. (1997)	Russland	100 år	Forskjellige strategier for skogfornyelse og forbedret skogskjøtsel	Nåværende klima		X		X	X		X		X				
Chen et al. (2000)	Canada	1999-2100	Skogplanting, skogfornyelse, nitrogen-gjødsling, økt avvirkningsnivå	Klimaendring	X	X		X				X	X				
Karjalainen et al. (2002)	Tyskland	1990-2050	Fast avvirkningshyppighet pr. treslagsgruppe	Klimaendring (temperatur, nedbør) Nåværende klima		X		X				X					
Ericsson (2003)	Dalarne, Sverige	2000-2100	Forskjellige omløpslengder Modellens mål er høyest mulig avvirkningsnivå	Nåværende klima		X		X		X			X				
Ågren & Hyvönen (2003)	Sverige	150 år	Fastsatt behandling for hver bonitet Forskjellig behandling av hogstavfall	Klimaendring (temperatur)				X									

Tabell 4. En oversikt over optimaliseringsmodeller for karbonomsetning i skog på regionalt nivå.

Litteratur	Lokalitet	Planleggingsperiode	Optimaliseringsmetode og objektive funksjoner	Skogskjøtsels-opsjoner	Fremtidig klima	Jordbruksland	Trær	Undervegetasjon	Jord	Strø og nedfall	Hogstavrill	Død ved fra naturlig avdøing	Treprodukter	Energisubstitusjon	Materialsubstitusjon	Utslipp fra produksjon av treprodukter	Utslipp fra produksjon av treprodukter	Utslipp fra hogst og transport
Hoen & Solberg (1994)	Buskerud, Norge	30 år	Dynamisk lineær programmering Maksimere nåværende nettoverdi som følge av historisk avvirkningsnivå Maksimere karbonbesparelser som følge av historisk avvirkningsnivå Maksimere nåværende nettoverdi for forskjellige karbonbesparelsesnivåer	Ingen skjøtsel, fri tynning i ungskog, tynning, gjødsling, flatehogst, flatehogst med frøtrestilling, planting, naturlig gjenvækst	Nåværende klima		X			X	X	X	X					
Gielen et al. (2001)	Vest-Europa	2010-2030	Lineær programmering Minimalisere kostnader som følge av etterspørsel etter produkter og tjenester, raskest mulig introduksjon av ny teknologi, tilgjengelighet av ressurser og bestemte mål for energibruk og emisjoner	Arealbruk (skogplanting, material-høsting, energi-høsting, mat)	Nåværende klima	X	X		X				X	X	X	X ²⁾		X ²⁾
Diaz-Balteiro & Romero (2003)	Pinar de Navafria, Spania	100 år	Målprogrammering Maksimere nåværende nettoverdi, jevn avvirkningstakt, jevnaldret skog, konstant stående volum, maksimere karbonbalansen	Flatehogst	Nåværende klima		X ¹⁾						X					
Alig et al. (2002)	USA	100 år	Dynamisk ikke-lineær programmering Maksimere diskontert netto-velstand	Arealbruk (skogbruk, landbruk) Skjøtselsintensitet Avvirkningsalder Tilvekstmetode	Klima- endring	X	X	X	X		X		X	X				
Backéus et al. (2005)	Västerbotten, Sverige	100 år	Lineær programmering Maksimere nåværende nettoverdi av tømmeromsetning og karbon som følge av maksimum 1% endring i avvirkningsnivå fra periode til periode	Skjøtselsprogram uten noen skjøtselstiltak Skjøtselsprogram med forskjellige omløpslengder	Nåværende klima		X				X	X	X					

¹⁾ Bare stammeved

²⁾ Indirekte inkludert

Tabell 1

Sammendrag av resultater fra tidligere litteratur som omhandler komparativ LCA for treprodukter og konkurrerende materialer.^a Studiene beskrives i detalj i teksten.

Forfatter	År	Substitusjon	Energi	CO ₂	SO ₂	NO _x	Støv	VOC	Avfall	EPS	Miljø-faktorer	"Ecosca rcity"	Global opp-varming	Forsuring	Eutrofi-ering	Foto-kjemisk ozon	Ikke-fornybare ressurser	Menneskelig toksikologi overfor luft	Menneskelig toksikologi overfor vann	Menneskelig toksikologi	Akvatisk toksikologi	Øko-toksikologisk innvirkning
Mørkved & Opdal	1990	Tre - stål (reisverk, tak, vegger)	+																			
Fossdal	1995	Tre - betong (boliger)	=	+	+	+	+															
Jönsson et al.	1995	Tre - vinyl (gulvbelegg)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
		Tre - linoleum (gulvbelegg)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
Engelbertsson	1997	Tre - stål (bjelker)									+	+	+									
Björklund & Tillmann	1997	Tre - betong (boliger)									=	=	=									
Jarnehammar	1998	Tre - betong (gulv, tak)									+		+	?	+	+						
		Tre - gips (kledning yttervegg)									b		+	+	+	+						
Engberg & Eriksson	1998	Tre, brent etter bruk - betong (jernbanesviller)							+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
		Tre, land-deponert etter bruk - betong (jernbanesviller)							+	+	+	+	+	+	+	c	+	+	+	+		+
Kristensen	1999	Tre - stål (reisverk lagerbygg)											+	=	+	+				+		+
		Tre - betong (reisverk lagerbygg)												+	+	+	+				+	
Börjesson & Gustavsson	2000	Tre - betong (reisverk)	+										#									
Petersen & Solbeg	2002bc	Limtre - stål (bjelker)	+										+									
Petersen & Solbeg	2002a	Tre - naturstein (gulv)	+										+									
Petersen & Solbeg	2002a	Tre - linoleum											+									
Solbeg	2003a	Tre - vinyl											+									
		Tre - polyamid (teppe)											+									
		Tre - ull (teppe)											+									

^a + tre er bedre enn materialet det er sammenlignet med; = tre er dårligere enn materialet det er sammenlignet med; # resultatet kan ikke presenteres i tabellen, se teksten [i original artikkel] for en mer detaljert beskrivelse av resultatet.

^b Kledning av tre er bedre enn gips i produksjonsfasen, men dårligere i bruksfasen.

^c Tresviller er bedre enn betongsviller hvis betongsvillene blir land-deponert etter bruk.

Tabell 2

Antall kg innsparte CO₂-ekvivalenter pr. m³ rundvirke som er brukt i produksjon av treprodukter som erstatning for andre materialer.

Forfatter	År	Element	Substitutt	Original-materiale	Fordeling	Vurderte faktorer	Innsparte utslipp av CO ₂ -ekvivalenter/tilført tømmer (kg/m ³)		
Björklund & Tillmann	1997	Reisverk i bolighus	Reisverk av tre	Betong, in situ		<i>M B U D W</i>	<i>T</i>	948	
				Betong, ferdigstøpt		<i>M B U D W</i>	<i>T</i>	1062	
Engelbertsson	1997	Bjelker, påtenkt ståltak	Massivt limtre	Stål	Cut-off	<i>M</i>	<i>T</i>	347	
				Stål	50/50	<i>M</i>	<i>T</i>	193	
				Stål	Kvalitet	<i>M</i>	<i>T</i>	54	
				Stål	Cut-off	<i>M</i>	<i>T</i>	401	
			Takstol limtre	Stål	50/50	<i>M</i>	<i>T</i>	238	
				Stål	Kvalitet	<i>M</i>	<i>T</i>	92	
			Bjelker, påtenkt treak	Massivt limtre	Stål	Cut-off	<i>M</i>	<i>T</i>	207
					Stål	50/50	<i>M</i>	<i>T</i>	117
					Stål	Kvalitet	<i>M</i>	<i>T</i>	36
					Stål	Cut-off	<i>M</i>	<i>T</i>	442
Takstol limtre	Stål	50/50	<i>M</i>	<i>T</i>	264				
		Kvalitet	<i>M</i>	<i>T</i>	104				
Engberg & Eriksson	1998	Sviller, brenning	Kreosotimpregnert ved	Betong	50/50	<i>M U W E</i>	<i>T</i>	360	
				Betong	50/50	<i>M U W E</i>	<i>T</i>	-310	
Jarnehammer	1998	Gulv/tak	Massivtre	Betong		<i>M</i>	<i>T</i>	93	
				Betong		<i>M</i>	<i>T</i>	253	
				Gips		<i>M U</i>	<i>T</i>	83	
Kristensen	1999	Yttervegg	Konvensjonell trekledning	Gips		<i>M U</i>	<i>T</i>	95	
				Gips		<i>M U</i>	<i>T</i>	95	
				Limtre		<i>M B D E</i>	<i>S</i>	299	
Nörjesson & Gustavsson	2000	Fleretasjes bygning	Reisverk av tre	Betong		<i>M B D E</i>	<i>S</i>	229	
				Reisverk av betong	Ukjent	<i>M B D E</i>	<i>S</i>	229	
Petersen & Solberg	2002bc	Bjelker	Limtre	Stål	Scenarioer	<i>M W (E)</i>	<i>S</i>	-90-430	
Petersen & Solberg	2002a	Gulvkonstruksjon	Trekonstruksjon	Natursteinkonstruksjon		<i>M W</i>	<i>S</i>	95-598*	
Petersen & Solberg	2002a 2003b 2003a	Gulvbelegg	Heltre eik	Linoleum		<i>M W (E)</i>	<i>S</i>	100-2800*	
				Vinyl		<i>M W (E)</i>	<i>S</i>	200-3100*	
				Teppe av polyamid		<i>M W E</i>	<i>S</i>	600-3200*	
				Teppe av ull		<i>M W E</i>	<i>S</i>	16900-19500*	

* Disse resultatene er med 4% diskonteringsrate, og har ikke inkludert alternativet der tre blir landdeponert, fordi det er ansett som usannsynlig.

M fremstilling inkludert; *U* bruk inkludert; *W* avfallsbehandling inkludert; *T* tonn innsparte CO₂-ekvivalenter sett i forhold til tilførsel av rundvirke;*B* bygging inkludert; *D* neddriving inkludert; *E* utslipp fra elektrisitetsproduksjon inkludert; *S* tonn innsparte CO₂-ekvivalenter sett i forhold til tilførsel av skurlast