

Miljöaspekter på val av stommaterial i byggnader

Kompletterande kartläggning av
kunskapsläget

Tomas Ekvall
B1663
Januari 2006

Rapporten godkänd:
2006-02-03



Peringe Grennfelt
Forskningsdirektör

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 5302 400 14 Göteborg	Projekttitel
Telefonnr 031-725 62 00	Anslagsgivare för projektet Naturvårdsverket
Rapportförfattare Tomas Ekvall	
Rapporttitel och undertitel Miljöaspekter på val av stommaterial i byggnader. Kompletterande kartläggning av kunskapsläget	
Sammanfattning <p> Detta är en litteraturöversikt som syftar till att kartlägga livscykelanalyser och liknande studier över flervåningshus byggda med trä och andra stombyggnadsmaterial, att redovisa de underlag de studierna ger för bedömning av stommaterialens betydelse för CO₂-utsläpp mm, och att identifiera kunskapsluckor och brister i utredningarna m a p stommaterialens miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv. I de flesta av de jämförande studier som granskats i denna översikt leder trästommar till lägre utsläpp av CO₂. Liksom i tidigare litteraturöversikter växlar stommaterialens betydelse dock kraftigt mellan olika studier. Byggnadens miljöbelastning domineras visserligen av användningsfasen, men valet av stommaterial verkar inte ha stor betydelse för användningsfasens miljöbelastning. De breda systemaspekterna, som träprodukternas påverkan på skogens tillväxt, användningen av biprodukter och av sparad skog mm, kan därför vara viktigare än själva användningen av huset i en miljömässig jämförelse av olika stommaterial. Ifall fokus läggs på de breda systemaspekterna, har trästommar en betydande potential till att reducera utsläppen av CO₂. Både skogsindustrins biprodukter och själva trästommarna kan utnyttjas i energisystemet och ersätta fossila bränslen. Hur mycket av denna potential som kommer att realiseras är dock osäkert. Viktiga metodval i livscykelanalyser kommer alltid att vara beroende av värderingar, perspektiv och förkunskaper hos den grupp som genomför studien. Det betyder att det inte går att få objektiva svar på om och hur mycket CO₂-utsläppen minskar då trä används som stommaterial. Istället för att sikta på objektivitet bör man sträva efter att få bred acceptans för studiens metodval och därmed för dess resultat. För att få ett mer robust underlag för policybeslut kan en studie genomföras med deltagande av forskare och/eller industrirepresentanter från alla de konkurrerande branscherna. </p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Byggmaterial, livscykelanalys, koldioxid, skogsprodukter	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B1663	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se , e-post: publicationservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	2
1.1	Bakgrund.....	2
1.2	Syfte.....	3
1.3	Metod.....	3
2	Mittuniversitetet.....	4
3	CORRIM.....	6
4	ATHENA.....	7
5	Öberg.....	8
6	Scheuer et al.....	9
7	Petersen & Solberg.....	9
8	Person.....	10
9	SETAC.....	11
10	Sammanfattande diskussion.....	12
10.1	Stommaterialets betydelse för CO ₂ -utsläpp.....	12
10.2	Skillnader i precision vid uppförandet.....	13
10.3	Åtgärder för brandskydd, bullerkrav mm.....	14
11	Slutsatser och frågor.....	14
11.1	Stommaterialets betydelse för CO ₂ -utsläpp.....	14
11.2	Kompletteringar av utredningarna.....	15
12	Referenser.....	17

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Byggnader står för en betydande andel av samhällets miljöbelastning. De påverkar miljön från vaggan till graven alltifrån uttag av råvaror via materialtillverkning, transporter i olika skeden, uppförande av byggnaden, användning (inklusive underhåll och ombyggnad) till rivning och slutligt omhändertagande. De bärande delarna i ett byggnadsverk utgörs vanligen av betong, stål eller trä medan materialet i klimatskal och andra kompletterande delar består av många olika material och tillsatsämnen.

Studier av byggnadens miljöpåverkan under hela livscykeln eller delar av den har gjorts i olika sammanhang, bl a för att jämföra olika byggnadsmaterial, olika tekniker för uppvärmning av byggnader mm. Birgit Brunklaus och Henrikke Baumann vid Chalmers tekniska högskola genomförde för tre år sedan, på uppdrag av Miljödepartementet, en översikt över några livscykelanalyser (LCAer) som studerat trä som stommaterial i hus (Brunklaus & Baumann 2002). Av dessa studier visar en del på att trästommar leder till lägre CO₂-utsläpp och annan miljöbelastning, jämfört med konkurrerande material, åtminstone i produktionsfasen. Enligt flera av studierna är den miljömässiga skillnaden mellan olika stommaterial dock försumbar, framförallt om livscykeln som helhet beaktas. Eftersom den långa användningsfasens energibehov (uppvärmning, el och varmvatten) dominerar byggnadernas totala miljöbelastning menar Brunklaus & Baumann (2002) att det är mycket viktigare att göra husen energieffektiva än att byta konstruktionsmaterial.

Per-Erik Eriksson vid Regelverket 2-tum-4 gjorde senare en liknande översikt över delvis andra LCAer på uppdrag av Skogsindustrierna (Eriksson 2003, Eriksson 2004). Han drar slutsatsen att alla de LCAer han granskat visar att träkonstruktioner ger lägre utsläpp av växthusgaser än konstruktioner av betong eller stål. Hur stor vinsten blir växlar dock kraftigt från studie till studie. I jämförelse med betongkonstruktioner innebär träkonstruktionerna att utsläppet av växthusgaser minskar med 60-370 kg CO₂-ekvivalenter per m². Jämfört med stålkonstruktioner orsakar träkonstruktionerna 60-400 kg CO₂-ekvivalenter mindre per m².

I departementsskrivelsen "Mer trä i byggandet – Underlag för en nationell strategi att främja användningen av trä i byggandet", Ds 2004:1, konstateras att trä och andra materials för- och nackdelar i byggnader inte är entydiga utan behöver belysas bättre. Valet av material påverkar inte bara miljöbelastningen från själva materialproduktionen, utan miljöbelastningen från hanteringen av bygg- och rivningsavfall, och eventuellt även själva användningsfasen. Val av stommaterial och produktionssätt – fabriks- eller platsbyggt (med eller utan "täkt" över bygget) – kan exempelvis ha betydelse för kvalitet och precision vid produktion, bl.a. för hur material exponeras för väder och vind (risk att fuktigt material byggs in), för byggnadens lufttäthet (påverkar energianvändningen när byggnaden används), och för vilka åtgärder som erfordras för att ge tillfredsställande ljudisoleringen och brandskydd.

1.2 Syfte

Detta är en litteraturöversikt som syftar till att

- Kartlägga de LCA-studier eller andra jämförbara bedömningsunderlag över flervåningshus utifrån trä och andra stombyggnadsmaterial som tagits fram efter ovan nämnda översikter.
- Redovisa de underlag de nya studierna ger, tillsammans med de kartläggningar som gjorts av Brunklaus & Baumann och av Eriksson, för bedömning av stommaterialens direkta och indirekta miljöaspekter. Fokus läggs dels på stommaterialets betydelse för CO₂-utsläpp, dels på eventuella skillnader i den precision som kan uppnås vid byggandet med olika stommaterial (vilket påverkar byggnadernas faktiska energibehov), och dels på eventuella skillnader i de åtgärder som erfordras för att klara brandskydd och bullerkrav, mm (vilket påverkar bland annat miljöbelastningen från produktion av material och tillsatsämnen).
- Identifiera kunskapsluckor och brister i utredningarna m a p miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv utifrån val av stommaterial.

Vilken betydelse val av material har för byggnadens produktionskostnader, underhållskostnader och dess ekonomiska värde behandlas inte i denna studie.

Den betydelse materialvalet - trä, betong, stål eller annat - har för CO₂-utsläpp och växthuseffekt är i första anblicken enkel. Vid en mer noggrann modellering blir sambanden dock komplexa. Trä är i grova drag koldioxidneutralt i längden, men användningen av trä i byggnader medför att kol lagras utanför atmosfären i flera decennier. Å andra sidan medför skogsavverkning att mindre kol lagras i stående träd under flera decennier. Dessutom kan skogsbrukets processer påverka både hur snabbt skogen växer till och hur mycket kol som binds i marken. Efter rivning kan energin i trä utvinnas och minska behovet av andra bränslen. Det leder till minskade CO₂-utsläpp i den utsträckning som träet ersätter fossila bränslen.

Cementproduktion medför stora utsläpp av CO₂. Produktionen inkluderar bland annat kalcinering, vilket innebär att kalciumkarbonat omvandlas till kalciumoxid och CO₂. Å andra sidan kan cement och betong fånga upp en betydande mängd CO₂ när materialet åldras.

Även produktion av stål från järnmalm medför stora utsläpp av CO₂, framförallt från koks- och masugnar. Om stålet produceras från skrot förbrukas mycket mindre fossila bränslen i processen. Istället används elenergi. Hur stora CO₂-utsläpp elförbrukningen medför beror på hur elenergin produceras.

1.3 Metod

Relevanta studier identifierades genom kontakter med Henrikke Baumann och Per-Erik Eriksson, Kajsa Sundberg på Naturvårdsverket, Anna Jarnehammar, Martin Erlandsson och Tomas Rydberg vid IVL, samt Roger Sathre vid Mittuniversitetet i Östersund. De inkluderar flera studier från Mittuniversitetet och uppdateringar av ett par studier vars tidigare versioner granskades av Eriksson. De inkluderar också studier i Mats Öbergs färskas doktorsavhandling från Lunds tekniska högskola och ett par lite äldre studier som inte ingick i någon av de tidigare översikterna. De studier som identifierats hänvisar ofta till tidigare studier, och bygger ibland delvis på dessa tidigare studier. Att granska även dessa tidigare studier har dock inte varit möjligt inom ramen för detta projekt.

Ett par av de granskade studierna är inte jämförande LCAer utan LCAer av existerande universitetsbyggnader som genomförts för att demonstrera metodiken och identifiera förbättringsåtgärder. Några av studierna gäller inte flervåningshus utan villor på en eller två våningar. Även dessa studier kan dock ge värdefull kunskap om stommaterialens miljöegenskaper.

Målet med denna litteraturoversikt är att undersöka i vilken utsträckning de identifierade studierna är relevanta för att belysa frågeställningarna ovan. Syftet är däremot inte att granska kvaliteten i de studier som diskuteras. En fullständig kvalitetsgranskning ryms inte inom ramen för denna litteraturoversikt. Rapporten inkluderar ändå diskussioner av vissa viktiga val av metoder och indata. I vissa fall ifrågasätts metodvalen. Det betyder dock inte i sig att kvaliteten i studierna ifrågasätts. Metodval som gör studierna mindre relevanta för denna litteraturoversikt kan vara helt korrekta eller rimliga i de studier de görs, eftersom de studierna ofta genomförts för att besvara delvis andra frågeställningar.

2 Mittuniversitetet

Vid Mittuniversitetet i Östersund har professor Leif Gustavsson genomfört flera relevanta studier, ofta tillsammans med doktoranden Roger Sathre. I en artikel som accepterats för publicering i tidskriften *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, analyserar Gustavsson m fl (2005) energibehov och CO₂-emissioner för två existerande fyrvåningshus med trästomme, ett svenskt och ett finskt. Dessa jämförs med likvärdiga betongkonstruktioner. Studien fokuserar på materialflöden och breda systemaspekter. Den tar bland annat hänsyn till hur energisystemen och skogstillväxten påverkas av produktionen av konstruktionsmaterial.

Studien inkluderar inte användningen av huset eller renoveringar under dess livstid. Författarna motiverar avgränsningen med att husen är utformade för att ha i stort sett identiskt energibehov under driftsfasen. De hänvisar till Adalberth (2000, sida 24-45, sida 32 och paper 3) som beräknat att skillnaden i energibehov i det svenska fallet är mindre än 1%. För beräkningen av husens energibehov vid användning använde Adalberth Enorm, ett dataprogram som används för detta syfte av både konsulter och myndigheter i Sverige. Programmet tar hänsyn till, exempelvis, värmeledning genom klimatskalet och till väderstrecken på fönstren. Däremot tar Adalberths analys inte hänsyn till konstruktionernas värmelagringsförmåga. Här stöder hon sig på Isakson m fl (1984) vars resultat pekar på att värmelagring inte påverkar energibehovet i bostadshus. Att analysera Isaksons arbete har inte varit möjligt inom ramen för denna litteraturoversikt.

De träbyggnader som analyseras är redan uppförda, och uppfyller gällande krav på brand- och bullerskydd. Det framgår dock inte av artikeln (Gustavsson m fl 2005) ifall Adalberth eller de själva tagit hänsyn till eventuella skillnader i den precision som kan uppnås vid byggandet med olika material, eller vilka åtgärder de räknat med för att klara brandskydd, bullerkrav mm.

För att beräkna de utsläpp av CO₂ som processernas elförbrukning orsakar använder Gustavsson m fl miljödata för elproduktion baserad på kol och naturgas. Detta val av indata kan motiveras utifrån ett marginalresonemang: det är kolbaserad och naturgasbaserad elproduktion som kan antas påverkas mest av en ändrad elförbrukning på kort respektive lång sikt. Eftersom särskilt kolkraft ger stora utsläpp av CO₂, medför valet av indata att processernas elförbrukningen har stor betydelse för analysens resultat.

Gustavsson m fl (2005) antar att det mesta av biprodukterna från skogsbruket (toppar och grenar) används som bränsle. Detsamma gäller bark och andra rester från sågverk och byggindustri. Av

rivningsvirket antas 90% användas som bränsle. Om husens byggs med betongstomme, antas skogen antingen stå oavverkad eller avverkas för att användas som bränsle. Allt detta biobränsle antas ersätta kol eller naturgas. Det gör att produktion av biobränsle, samt förbränning av träavfall och biprodukter leder till en rejäl miljövinst i CO₂-analysen.

Analysen tar hänsyn till att skogen växer långsammare, och därmed absorberar mindre CO₂, om den inte avverkas.

Av den CO₂ som släpps ut från cementindustrins kemiska processer antas 8% fångas upp genom karbonatisering under byggnadens livslängd. Analysen inkluderar inte karbonatisering som sker efter att husen rivits eller effekterna av eventuell återvinning av betongen efter att husen rivs. Enligt Sathre (2005) har sådan återvinning liten betydelse för de totala utsläppen till luft.

Resultaten indikerar att hus med betongkonstruktion leder till större nettoutsläpp av CO₂ än hus med trästomme, även om den skog som blir över när husen byggs av betong avverkas för produktion av biobränsle. Det beror till viss del på att, enligt de indata som Gustavsson m fl använt, mer energi utvinns ur virket om det först använts till trästomme än om det avverkas för direkt produktion av biobränsle. En möjlig förklaring är att det begagnade virket kan antas ha lägre fukthalt än det färskt virket (Sathre 2005). Den tydligaste orsaken till att betongkonstruktionen ger större nettoutsläpp av CO₂ i detta fall är dock den CO₂ som släpps ut från cementindustrins kemiska processer.

I en känslighetsanalys presenterad i separata artiklar (Gustavsson & Sathre 2004, Gustavsson & Sathre 2005), beräknar författarna effekten av olika antaganden rörande produktionen av betong, stål och trä, rörande användningen av restprodukter från skogsbruk, sågverk och rivningsarbeten mm. Känslighetsanalysen inkluderar dock inte husens användningsfas, möjligheten att betong återvinns efter att husen rivits, eller karbonatisering som sker efter att husen rivits. I nästan samtliga beräkningar leder betongkonstruktionen till större nettoutsläpp av CO₂ än träkonstruktionen. Det gäller även ett scenario där rivningsvirket deponeras istället för att förbrännas med energiutvinning. Om rivningsavfallet efter användning läggs på deponi och bryts ner under syrebrist, bildas betydande mängder metan som är en kraftfull växthusgas. Gustavsson & Sathre inkluderar inte utsläpp av metan i studien, eftersom den begränsas till energibehov och CO₂-utsläpp. Detta gynnar trästommarna i jämförelsen med betongkonstruktionen.

Sathre et al. (2004) presenterade också en jämförelse av olika sätt att hantera rivningsvirke: deponering, förbränning med energiutvinning, eller återanvändning i nya hus. Den studien utvidgades i en miljösystemanalys som accepterats för publicering i *Resources, Conservation and Recycling* (Sathre & Gustavsson 2005). Sathre & Gustavsson räknar bland annat på scenarier där återvunnet trä ersätter stål och betong som konstruktionsmaterial. De använder liknande avgränsningar och antaganden som Gustavsson m fl (2005). Utsläppen av CO₂ blir, med den metodik som använts, något högre när husen byggs av stål och betong än av trä, men valet av konstruktionsmaterial betyder mindre för resultaten än valet att producera ytterligare biobränsle i skogen.

3 CORRIM

En av de LCAer som ingick i Per-Erik Erikssons översikt presenterades av CORRIM (Consortium for Research on Renewable Industrial Materials). I den studien jämfördes amerikanska villor med olika stommaterial:

- trästomme jämfördes med stålstomme i ett hus i det kyliga Minneapolis, och
- trästomme jämfördes med betongstomme i ett hus i varma, fuktiga Atlanta.

CORRIMs rapport har reviderats i omgångar sedan dess. Den senaste revisionen presenterades i augusti 2005 i en utförlig huvudrapport (Bowyer m fl 2005) och flera underlagsrapporter. En något tidigare version med i princip samma resultat har också publicerats i en vetenskaplig artikel (Lippke m fl 2004). Enligt dessa resultat kräver husen med trästommar mindre energi och ger mindre CO₂-utsläpp än motsvarande hus med stål- eller betongstomme. De leder också till lägre utsläpp av andra luftföroreningar.

En skillnad jämfört med den studie som Eriksson granskade är att Bowyer m fl nu inkluderar energibehovet under husens användningsfas. De har medvetet strävat efter att designa hus som dels uppfyller de lokala byggreglerna och dels är termiskt likvärdiga. Det framgår inte vare sig av underlagsmaterialet (Kasal & Huelman 2004) eller huvudrapporten om miljöanalysen tagit hänsyn till eventuella skillnader i den precision som kan uppnås vid uppförandet av byggnaden, eller till särskilda åtgärder som erfordras för att klara brandskydd, bullerkrav mm.

Bowyer m fl (2005) inkluderar CO₂-utsläpp från materialproduktion, konstruktion, rivning, underhåll, samt uppvärmning och kylning av bostaden. De verkar dock inte räkna med möjligheten till energiotvinning eller återvinning av bygg- och rivningsavfall. Energiförbrukningen för uppvärmning och kylning beräknades med internetverktyget Home Energy Saver (<http://homeenergysaver.lbl.gov/>). För att beräkna de utsläpp av CO₂ som processernas elförbrukning orsakar används miljödata för genomsnittlig elproduktion i de regioner där processerna lokaliserats (Bowyer m fl 2005, sida 56).

Enligt slutrapportens underlagsmaterial kräver Atlantahuset med trästomme något mindre energi vid användning jämfört med betongstomme (Winistorfer m fl 2005). I själva slutrapporten anges att energibehovet för uppvärmning och kyla är oberoende av stommaterial, för Bowyer m fl har valt konstruktioner med avsikt att de ska ha samma behov av uppvärmning och kylning, även om de inte lyckats exakt. Att trähusens något högre energieffektivitet försummas missgynnar trästommarna i jämförelsen.

Bowyer m fl (2005) betraktar träprodukter som en CO₂-sänka. De räknar inte med den CO₂ och det metan som bildas när träprodukterna eldas upp eller bryts ner på deponier efter användning (Winistorfer m fl 2005). Detta gynnar trästommarna i jämförelsen. Å andra sidan räknar de inte heller med att den energi som utvinns när rivningsvirket eldas upp kan ersätta fossila bränslen. Detta missgynnar trästommarna.

Viktigast för CO₂-jämförelsen är dock att Bowyer m fl (2005) betraktar själva skogen som en stor kolsänka som tillgodoräknas träprodukterna i husen. För varje ton kol som lagras in i träprodukter, räknar de fram att ytterligare 22 ton (i Minneapolis-husen) respektive 6 ton (i Atlanta-husen) lagras in i skogen. Minneapolis-huset med trästomme tillgodoräknas en CO₂-sänka som t o m är större än det utsläpp av CO₂ som orsakas av uppvärmning och kylning av huset under dess 75-åriga drifttid.

Dessa resultat är misstänkt höga och gynnar trästommarna kraftigt. Det går dock inte att uttala sig bestämt om den delen av beräkningarna utan att tränga djupare in i studien.

Att skogen och träprodukterna som CO₂-sänka tillgodoräknas just träprodukterna, tyder på att Bowyer m fl inte tar hänsyn till att skogen växer även om den inte avverkas, eller att skogens träd kan användas till andra produkter om de inte används för att bygga de analyserade husen. I detta skiljer sig Bowyer m fl ifrån Gustavsson m fl (2005), och eftersom sänkorna är så stora gynnar det trästommarna kraftigt.

Det är oklart om Bowyer m fl räknat med karbonatisering av cementen, dvs att betongkonstruktionen absorberar CO₂ under husens användningsfas.

4 ATHENA

Även en annan av de LCAer som ingick i Per-Erik Erikssons översikt har uppdaterats sedan dess. Det är ATHENA Sustainable Materials Institute som på uppdrag av Canadian Wood Council (CWC) jämfört villor med trä-, stål- och betongkonstruktion. Den uppdaterade studien presenteras kortfattat av CWC (2004). Liksom CORRIM har ATHENA utvidgat analysen till att nu även inkludera användningsfasen. Det betyder att analysen nu inkluderar miljöbelastning från materialproduktion, konstruktion, rivning, underhåll, samt uppvärmning och kylning av bostaden. De verkar dock inte räkna med möjligheten till energiutvinning eller återvinning av bygg- och rivningsavfall. Enligt resultaten kräver villan med träkonstruktion mindre energi och ger betydligt mindre CO₂-utsläpp under sin livscykel jämfört med motsvarande hus av stål och betong. Den leder också till lägre utsläpp av andra luftföroreningar.

Större delen av villornas samlade energibehov och utsläpp till luft (50-75% beroende på konstruktion och effektkategori) orsakas av användningsfasen. Till skillnad från CORRIM har ATHENA räknat med de små skillnaderna i energiprestanda som finns mellan de jämförda konstruktionerna. Det innebär, i denna studie, att villan med stålkonstruktion förbrukar 5% mer energi än de andra för uppvärmning och kylning.

ATHENAs beräkningar tar hänsyn inte bara till konstruktionernas isolering, mätt som R-värde, utan också exempelvis hur täta de är och vilken kapacitet de har att lagra värme. I frånvaro av verifierade data för betongkonstruktionen antog författarna att R-värdet och tätheten var densamma som för träkonstruktionen. Författarna indikerar att detta antagligen missgynnar betongkonstruktionen som sannolikt är tätare (CWC 2004, sida 9). Om det beror på skillnader i precision vid uppförandet av byggnaden, eller på skillnader i materialens och konstruktionernas egenskaper går inte att avgöra.

Skillnaden i användningsfasen är dock bara en liten del av orsaken till att träkonstruktionen förbrukar mindre energi och leder till lägre utsläpp än de andra konstruktionerna i denna studie. Skillnaden i produktion och hantering av de olika materialen är viktigare. ATHENA har baserat sin studie på data som är genomsnittliga eller typiska för Nordamerika eller Toronto-regionen (CWC 2004, sida 7). Det framgår dock inte av CWCs kortfattade presentation om och hur studien har behandlat skogsbrukets effekter på kolbalansen, det kol som lagras in i träprodukter eller karbonatisering av betongprodukter. Det framgår inte heller om de tagit hänsyn till skillnader i de åtgärder som erfordras för att klara brandskydd, bullerkrav mm.

5 Öberg

I doktorsavhandlingen "Integrated life cycle design - Applied to Swedish concrete multidwelling buildings" presenterar Mats Öberg en metodik för att utvärdera miljöprestanda, ekonomi och funktionalitet hos bostadshus av olika slag, med fokus på betongkonstruktioner (Öberg 2005). Öbergs verktygslåda inkluderar bland annat inventering av miljöbelastningen från produktion av olika byggkomponenter, från vagg till grind. Öberg (2005, Annex 5.F) använder Cementas miljövarudeklaration från 2003 för att beräkna utsläppen av CO₂, NO_x och SO₂ från produktionen av cement. Absorption av CO₂ genom karbonatisering av betongen inkluderas inte i studien (Öberg 2006). För produktion av armeringsjärn och själva byggprocessen används data från en äldre studie (Björklund 1996).

Denna metodik tillämpas dock enbart på betongkonstruktioner. För andra konstruktioner, och när konstruktioner av olika material jämförs, förenklas miljöbedömningen till att enbart inkludera byggnadens energibehov under driftfasen, och av den miljöbelastning som energitillförseln orsakar. De miljöparametrar som studeras är utsläpp av CO₂, NO_x och SO₂, samt förbrukning av olika energibärare. Denna miljöbelastning värderas med EPS-metoden (Steen 1999).

Öberg tillämpar den förenklade metodiken i flera jämförande studier och utvärderingar. Bland annat jämför han tre villor med olika konstruktion (Öberg 2005, avsnitt 7.3):

- konstruktion med massiva LECA-block,
- lätt träkonstruktion, samt
- konstruktion med sandwich-block av LECA och polyuretan-isolering.

Enligt Öberg (Tabell 7.3) leder den massiva LECA-konstruktionen mest värme, men träkonstruktionen är mest otät. Såvitt jag kan bedöma framgår det inte av avhandlingen om skillnaden i täthet beror på skillnader i precision vid det faktiska uppförandet av byggnaden, eller på skillnader i materialens täthet och konstruktionernas egenskaper redan vid ritbordet. Sammantaget kräver den massiva betongkonstruktionen, enligt Öbergs resultat, något mer energi för uppvärmning än träkonstruktionen. Sandwich-konstruktionen kräver dock lite mindre energi.

I en annan av Öbergs analyser (avsnitt 7.4) jämförs trä med betong som stommaterial i ett energieffektivt 4-familjshus. Öberg (2005, avsnitt 7.7) jämför också olika fasadelement i ett typiskt, svenskt flerbostadshus:

- en sandwich-konstruktion med betong och stenull, och
- en konstruktion med trä eller stål och stenull.

Enligt Öbergs resultat påverkas husens energibehov mycket lite av valet mellan dessa material.

Husens energibehov beräknas bland annat med det kommersiellt tillgängliga modellverktyget VIP+. Det tar hänsyn inte bara till konstruktionernas isoleringsförmåga, utan också exempelvis hur täta de är och vilken kapacitet de har att lagra värme. För att beräkna de utsläpp av CO₂, NO_x och SO₂ som husens uppvärmning orsakar använder Öberg miljödata för genomsnittlig svensk elproduktion, för genomsnittlig svensk fjärrvärmeproduktion, och för eldnings av olja, naturgas mm. Dessa indata hämtas från en databas i LCAiT från 1996 (Öberg 2005, avsnitt 5.12.1). Genomsnittlig svensk elproduktion har mycket låga utsläpp av CO₂, NO_x och SO₂, vilket betyder att husens elförbrukning har liten betydelse för miljöanalysens resultat.

Brandsäkerhet är en av de funktioner som Öberg diskuterar. De olika konstruktioner som jämfördes har olika brandklassning, och detta påverkar den ekonomiska analysen genom att husen får olika kostnad för försäkringar. Det framgår dock inte vilka åtgärder för att klara brandskydd, bullerkrav mm som inkluderas i miljöanalysen.

6 Scheuer et al

Scheuer m fl (2003) publicerade en LCA av ett sexvåningshus på University of Michigan. Detta hus har en konstruktion av stål, betong och tegel men inkluderar också små mängder trä. Studiens syftade till att undersöka möjligheten och värdet av att göra en fullständig LCA av ett verkligt hus. Scheuer m fl identifierar också hur mycket olika delar av byggnadens livscykel och funktioner bidrar till dess totala miljöbelastning, och diskuterar olika åtgärder för att minska miljöpåverkan. De gör dock ingen egen analys av hur miljöbelastningen skulle förändras om huset hade byggts med andra konstruktionsmaterial.

Scheuer m fl inkluderar energiförbrukning och utsläpp från materialproduktion, konstruktion, drift och underhåll, samt rivning och avfallshantering. Driften inkluderar värme, ventilation, luftkonditionering, el till belysning och kontorsmaskiner samt vatten och avlopp. Energiförbehovet för allt utom vatten och avlopp beräknas med datorprogrammet eQuest (Hirsch 2002). För att beräkna miljöbelastningen som driftens energibehov orsakar, används genomsnittliga miljödata för det lokala energisystemet. Detta system domineras av ett naturgaseldat kraftvärmeverk som placeras på universitetsområdet. För att beräkna de utsläpp som orsakas av elförbrukningen vid produktion av material används genomsnittliga miljödata för elproduktion i den regionen eller i USA som helhet.

Avfallshanteringen behandlas på ett förenklat sätt. Det är oklart om de räknar med möjligheten till energiutvinning. Möjligheten till materialåtervinning beaktas, men analysen avgränsas så att den varken inkluderar miljöbelastning från återvinningsprocesser eller miljövinsten som uppstår om det återvunna materialet ersätter annat material i nya produkter.

Enligt Scheuers resultat domineras husets miljöbelastning av drift och underhåll. Denna del står för nästan 98% av livscykelns förbrukning av primärenergi och för 86-96% av byggnadens bidrag till växthuseffekt, försurning, övergödning och ozonlagerpåverkan.

Det är oklart om och hur Scheuer m fl modellerar skogsbrukets betydelse för CO₂-utsläppen och karbonatiseringen av cement. Eftersom det inte är en jämförande LCA, tar studien inte hänsyn till eventuella skillnader i precision eller i åtgärder för brand- och bullerskydd som följer av valet av stommaterial.

7 Petersen & Solberg

Petersen & Solberg (2002) vid Norges lantbruksuniversitet i Ås jämförde laminerade träbalkar med stålbalkar för användning i en byggnad på Gardemoens flygplats. Jämförelsen fokuserade på energibehov, utsläpp av växthusgaser samt ekonomi. Den gjordes i ett livscykelperspektiv, men inkluderar i praktiken bara produktion och transport av balkarna och deras råmaterial (trä, lim och stål), samt avfallshantering. Byggnation, husets användningsfas och rivning antogs vara lika för båda konstruktionerna och uteslöts därför ur analysen. Å andra sidan inkluderar studien både miljöbelastning och miljövinster som kan fås genom att träbalkarna förbränns och stålet återvinns efter 50 års användning. Petersen & Solberg inkluderar också eventuella effekter på skogens

inlagring av kol som en av många känslighetsanalyser. Det är oklart om de tagit hänsyn till skillnader i de åtgärder som erfordras för att klara brandskydd mm.

Om stålbalkarna produceras av en genomsnittlig blandning av skrot- och malmbaserat stål, kräver produktionen dubbelt så mycket energi och ger 6-7 gånger så stora utsläpp av växthusgaser som produktionen av träbalkar.

Effekten av avfallshanteringen beror kraftigt på om träbalkarna deponeras eller förbränns med energiutvinning, och vilken energi som de i så fall ersätter. Den beror också kraftigt på om stålbalkarna efter återvinning ersätter annat skrotbaserat stål eller malmbaserat stål. I likhet med andra livscykelanalyser av långlivade produkter är utsläpp och miljövinster vid avfallshanteringen mycket osäkra. Petersen & Solberg hanterar en del av osäkerheten genom att göra olika scenarier för vilken energi som ersätts vid förbränning av träavfall och vilket material som ersätts vid återvinning av stålskrot, men alla scenarier verkar baseras på data som avspeglar dagens processer och energisystem. Problemet med de osäkra effekterna av avfallshanteringen blir tydligare i denna studie än i t ex CORRIM- och ATHENA-studierna som avgränsats till att inte alls inkludera stora delar av avfallshanteringens effekter.

Det som främst skiljer denna studie från andra livscykelanalyser är att de tar hänsyn till när utsläppen av CO₂ sker, genom att använda diskonteringsräntor på 0-8% per år. En hög diskonteringsränta betyder att utsläpp av CO₂ som sker idag väger mycket tyngre än utsläpp som sker i framtiden. I de resultat där Petersen & Solberg använder en diskonteringsränta på 4% eller mer spelar avfallshanteringen liten roll för slutresultaten, vilket gör att problemet med de osäkra effekterna av avfallshanteringen försvinner. Den metoden är dock kontroversiell. Den kan tolkas som ett uttryck för värderingen att miljöproblem som drabbar framtida generationer är mindre viktiga än miljöproblem som belastar dagens generation, vilket ju är den som byggde huset och därmed på sätt och vis orsakade miljöbelastningen. Diskonteringsräntan kan dock även tolkas mer optimistiskt: som ett uttryck för en tro att klimatproblematiken kommer att lösas någorlunda snart. Om växthuseffekten inte längre är ett miljöproblem när byggnaden på Gardemoen rivs, spelar det inte så stor roll hur mycket CO₂ som släpps ut eller sparas i avfallshanteringen.

Petersen & Solberg verkar inte räkna med klimatpåverkan från det utsläpp av icke-fossil CO₂ som sker när träbalkarna bränns efter användning. Det är helt i enlighet med vanlig LCA-praxis, men eftersom just denna studie tar hänsyn till när utsläppen sker hade det kunnat vara relevant att räkna på både inlagringen av kol i de växande träden och utsläppen vid förbränning av träavfall. Att författarna inte räknar med denna temporära inlagring av kol missgynnar trästommarna i de fall då diskonteringsräntan är över noll.

I en känslighetsanalys inkluderar författarna inlagringen av kol i de träd som växer upp där skog avverkat för att producera träbalkar. Det innebär att träets inlagring av kol räknas dubbelt. Detta gynnar förstås trästommarna i just denna känslighetsanalys.

8 Person

Redan tidigt presenterade uppdragsforskningsstiftelsen CIT Ekologik en översiktlig LCA av en yttervägg och VAV-system i en existerande kontorsbyggnad i Göteborg (Person 1997). Ytterväggen är konstruerad av tegel och betong men innehåller även träreglar. Studien syftade till att visa hur en LCA av en byggnadskonstruktion kan genomföras och till att undersöka de metodproblem som uppstår. Analysen inkluderar miljöbelastningen från materialproduktion, från 100 år av drift och

underhåll och från en hypotetisk deponering av rivningsavfall. Driften inkluderar uppvärmning av huset med fjärrvärme. Värmebehovet beräknades med datorprogrammet BV² (för en färsk version av programmet, se http://www.bv2.nu/bv2_s.htm). För att beräkna miljöbelastningen som husets värmebehov orsakar, använde Person dels genomsnittliga miljödata för svensk fjärrvärmeproduktion, dels data för fjärrvärme producerad från olja.

Driften inkluderar också förbrukning av el till datorer och andra kontorsmaskiner, till belysning och till ventilation och kyla. Enligt Persons beräkningar är husets elförbrukning större än dess förbrukning av fjärrvärme. Miljöbelastningen som elförbrukningen orsakar ingår dock inte i denna studie. Trots detta dominerar LCA-resultaten av driftsfasen. Med miljödata för genomsnittlig svensk fjärrvärmeproduktion orsakar t ex uppvärmningen av byggnaden nio gånger större utsläpp av klimatgaser jämfört med produktionen av de material som ingår i konstruktionen.

Person (1997) inkluderar inte effekter på skogens tillväxt och inlagring av CO₂. Studien inkluderar inte heller karbonatiseringen av cement. Eftersom det inte är en jämförande LCA, tar studien inte hänsyn till eventuella skillnader i precision eller i åtgärder för brand- och bullerskydd som följer av valet av stommaterial.

9 SETAC

The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) publicerade för ett par år sedan en rapport med syftet att beskriva state-of-the-art när det gäller LCA av byggnader och konstruktioner (Kotaji m fl 2003). Den beskriver olika metodval och diskuterar hur de slår på LCA-resultaten. Rapporten inkluderar kortfattade beskrivningar av ett tiotal LCA-projekt vars resultat publicerats under perioden 1994 till 2001, och många fler nämns.

Kotaji m fl (2003) nämner också flera LCA-verktyg som anpassats eller utvecklats specifikt för byggsektorn: Envest, Eco-Quantum, Greenal, LCA House och Athena. Enligt Kotaji m fl inkluderar nästan alla metoder och verktyg produktionen av material som används i byggnationen, transporter av dessa material, energianvändningen i driftsfasen, samt transport av rivningsavfall. De flesta verktyg inkluderar också underhåll och renovering på något sätt. Processer för att göra producera byggkomponenter från materialen ingår ibland. Detsamma gäller bygg- och rivningsprocesserna och behandlingen av rivningsavfall, liksom vattenanvändningen under driftsfasen. Hantering av byggavfall ingår oftast inte.

Enligt de studier som Kotaji m fl gått igenom dominerar livscykelns energibehov av användningsfasen. För vanliga hus står den ofta för 80-90% av livscykelns energibehov. Produktionen av material svarar för det allra mesta av resterande 10-20%. I energieffektiva byggnader kan produktionen av material dock stå för 40% eller mer av livscykelns energibehov.

Kotaji m fl betonar att en LCA bör ta hänsyn till att olika delar av en byggnads konstruktion påverkar varandra. En tyngre väggkonstruktion kan t ex kräva en stadigare grund, vilket betyder att mer material måste produceras även till grunden.

10 Sammanfattande diskussion

10.1 Stommaterialets betydelse för CO₂-utsläpp

I de flesta av de jämförande studier som granskats i denna översikt leder trästommar till lägre utsläpp av CO₂. Liksom i tidigare översikter växlar stommaterialets betydelse dock kraftigt mellan olika studier. Enligt Öberg (2005) är den miljömässiga skillnaden mellan trä- och betongkonstruktioner några enstaka procent, och det är inte entydigt vilket material som är miljömässigt bäst. Enligt Gustavsson m fl (2005) är skillnaden i CO₂-utsläpp mellan trä- och betonghus stor och tydlig: ca 100-500 kg CO₂, beroende på scenario. Enligt CORRIM-studien ger ett betonghus i Atlanta nära 20% mer CO₂ än motsvarande trähus, trots att energibehovet vid användning antas vara identiskt för de båda husen (Bowyer m fl 2005). Ett trähus i Minneapolis leder till mer absorption än utsläpp av CO₂, dvs till en ren miljövinst, när Bowyer m fl räknar över hela dess livscykel.

Skillnaden mellan studiernas resultat beror delvis på att de gäller olika slags hus och på att husen är placerade i olika klimat och olika energisystem. Men till stor del beror skillnaden på studiernas avgränsningar och andra metodval. Eftersom många viktiga metodval i en LCA beror på vilka perspektiv och antaganden som uppfattas som relevanta, är det värt att notera att ett par av studierna (Bowyer m fl 2005, CWC 2004), och även Erikssons översikt, genomförts i anslutning till skogsindustrin. Studien av Gustavsson m fl (2005) genomfördes i samarbete med finska Skogsforskningsinstitutet, och Petersen & Solberg (2002) gjorde sin studie på institutionen för skogsforskning på Norges lantbruksuniversitet. Öbergs studier delfinansierades å andra sidan av Cementa.

Ett par studier (Gustavsson m fl 2005, Petersen & Solberg 2002) inkluderar inte husens användningsfas, för författarna har strävat efter att välja konstruktioner som har samma energibehov. Bowyer m fl (2005), som faktiskt inkluderar användningsfasen, utgår ändå ifrån att användningsfasen är identisk i de jämförda husen. Två jämförande studier inkluderar direkt modellering av användningsfasen (CWC 2004, Öberg 2005), men inte heller i dessa studier skiljer sig användningsfasen kraftigt åt mellan de jämförda husen. De studier som granskats indikerar alltså att stommaterialets betydelse för CO₂-utsläpp inte i första hand ligger i användningsfasen.

Som påpekades redan i inledningen medför användningen av trä som stommaterial att kol lagras utanför atmosfären i flera decennier. För att kunna ta hänsyn till denna tillfälliga lagring på ett riktigt sätt behöver livscykelanalysen skilja på utsläpp som sker vid olika tidpunkter. Det gör en LCA normalt inte. Av de studier som granskats här är det bara Petersen & Solberg (2002) som tar hänsyn till tidpunkten för utsläppen, och deras studie inkluderar inte inlagringen av kol i produkterna. Bowyer m fl (2005) inkluderar inlagringen av kol i produkterna men inte den CO₂ och det metan som bildas när träprodukterna eldas upp eller bryts ner på deponier efter användning. Den metoden är rimlig bara om det kan antas att klimatpåverkan inte längre är ett problem när huset rivs. Annars leder metoden till att miljönyttan av lagring av kol i trästommar överdrivs. Övriga studier verkar inte ta hänsyn till att kol tillfälligt lagras i trästommarna.

Avverkning av skog medför å andra sidan att mindre kol är lagrad i stående träd tills skogen vuxit upp igen. Dessutom kan skogsbrukets processer påverka både hur snabbt skogen växer till och hur mycket kol som binds i marken. Effekter på skogens tillväxt inkluderas av Gustavsson m fl (2005), Bowyer m fl (2005) och av Petersen & Solberg (2002). Det resultat som Bowyer m fl anger för inlagring av kol i skog är dock misstänkt högt. Osäkerheten när det gäller dessa effekter är stor,

bland annat för att effekten beror på vilket trädslag som dominerar i skogen (Gustavsson m fl 2005). Effekter på hur mycket kol som binds i marken verkar inte ingå i någon av de granskade studierna.

Skogsindustrins biprodukter kan användas som biobränsle och ersätta annat bränsle. Gustavsson m fl (2005) tar hänsyn till detta och antar att biprodukterna ersätter fossila bränslen. Den metoden är rimlig om syftet är att undersöka vilken *potential* trästommar har till att bidra till minskade CO₂-utsläpp. Om syftet är att bedöma hur trästommar *sannolikt* påverkar CO₂-utsläppen, riskerar antagandet att leda till att biprodukternas miljövärde överdrivs.

Efter rivning kan energin i trä utvinnas och minska behovet av andra bränslen. Det leder till minskade CO₂-utsläpp i den utsträckning som träet ersätter fossila bränslen. Den effekten inkluderas av Gustavsson m fl (2005) och av Petersen & Solberg (2002). Gustavsson m fl antar att 90% av rivningsvirket eldas upp och ersätter fossila bränslen. Även det antagandet är rimligt om syftet är att undersöka vilken *potential* trästommar har till att bidra till minskade CO₂-utsläpp. Om syftet är att bedöma hur trästommar sannolikt påverkar CO₂-utsläppen, riskerar antagandet att leda till att rivningsvirkets miljövärde överdrivs.

Petersen & Solberg (2002) räknar på olika scenarier för avfallshanteringen, där träbalkarna antingen deponeras eller eldas upp. I det senare fallet antas energin ersätta antingen olja eller en genomsnittlig norsk energimix med 70% vattenkraft och 30% olja. De antagandena är rimliga om det studerade huset skulle rivs idag, eller om energisystemet i huvudsak är oförändrat under kommande 50 år. Annars är de tveksamma.

Om träet inte används till trästommar kan det användas till andra produkter som eventuellt medför liknande miljövinster som trästommar. Det antagandet är rimligt om användningen av trä begränsas av mängden tillgängligt trä och inte av efterfrågan på trä. Den effekten inkluderas i ett scenario av Gustavsson m fl (2005). De antar då att stomproduktion av betong istället för trä medför att motsvarande mängd trä används för att producera biobränsle som ersätter fossila bränslen.

Det är rimligt att anta att de flesta studier inkluderar utsläpp av CO₂ från kalcinering vid cementproduktion. Däremot är det för de flesta studier oklart om de inkluderar karbonatiseringen, dvs den långsamma absorptionen av CO₂ i betong. Gustavsson m fl (2005) inkluderar karbonatiseringen och antar att 8% av mängden CO₂ från kalcineringen absorberas under husets livslängd. Osäkerheten i den siffran verkar vara stor. Karbonatisering som sker efter att huset har rivits ingår inte heller i studien.

För stålstommar påverkas resultaten kraftigt av om stommarna efter användning och återvinning ersätter malmbaserat eller skrotbaserat stål. Resultaten påverkas också av ifall stommarna själva produceras av malmbaserat eller skrotbaserat stål. Petersen & Solberg (2002) räknar på olika alternativ för att illustrera hur dessa faktorer påverkar CO₂-utsläppen, men osäkerheten är stor när det gäller vad stålet faktiskt ersätter när det återvinns flera decennier in i framtiden.

10.2 Skillnader i precision vid uppförandet

I de flesta studier som inkluderar husens användningsfas, domineras livscykelns miljöbelastning av denna fas. Valet av stommaterial har dock liten betydelse för denna miljöbelastning i alla studier i denna översikt. Det beror bland annat på att författarna oftast strävat efter att välja konstruktioner som är energimässigt likvärdiga. Det faktiska energibehovet påverkas dock av om konstruktionen

uppförs på rätt sätt. Om valet av material påverkar den precision som uppnås vid uppförandet, kan det faktiska energibehovet skilja mellan de olika konstruktionerna, även om de teoretiskt är likvärdiga.

Det är osäkert om någon av studierna i denna översikt tog hänsyn till denna aspekt. Åtminstone två av de granskade studierna (CWC 2004, Öberg 2005) tog hänsyn till skillnader i täthet mellan konstruktioner av olika material. I dessa studier hade den skillnaden ändå liten betydelse för de samlade LCA-resultaten. Det framgår dock inte om skillnaden i täthet beror på skillnader i precision vid uppförandet av byggnaden, eller om den beror på andra skillnader i materialens och konstruktionernas egenskaper.

10.3 Åtgärder för brandskydd, bullerkrav mm

Det har inte heller gått att slå fast, i denna översikt, i hur stor utsträckning som studierna tar hänsyn till åtgärder som erfordras för att klara brandskydd och bullerkrav eller andra särskilda behov av kompletterande åtgärder. Författarna har strävat efter att jämföra konstruktioner som uppfyller lokala byggregler och är funktionellt likvärdiga. Öberg (2005) anger att konstruktionerna har olika brandklassning, men även hans konstruktioner uppfyller de krav på brandskydd som finns. Å andra sidan framgår det inte av någon av de granskade rapporterna och artiklarna vilka åtgärder för att uppfylla krav på brandskydd, bullerskydd mm som inkluderas i analyserna.

11 Slutsatser och frågor

11.1 Stommaterialets betydelse för CO₂-utsläpp

Byggnadens miljöbelastning domineras visserligen av användningsfasen, men valet av stommaterial verkar inte ha stor betydelse för användningsfasens miljöbelastning. Byggnadens energieffektivitet avgörs främst av andra faktorer, såsom mängden isoleringsmaterial, fönstrens storlek och utformning, systemen för värme och ventilation mm. Denna översikt tyder på att de breda systemaspekterna, som träprodukternas påverkan på skogens tillväxt, användningen av biprodukter och av sparad skog mm, därför är viktigare än själva användningen av huset i en miljömässig jämförelse av olika stommaterial. Det är dock fortfarande oklart vad som gjorts i de granskade analyserna för att ta hänsyn till eventuella skillnader i precision vid uppförandet och i åtgärder som krävs för att uppfylla krav på brandskydd, bullerskydd mm. För att utreda detta vidare är det lämpligt att intervjua de forskare som genomfört jämförande studier där användningsfasen modellerats: exempelvis Bowyer m fl, ATHENA, och Öberg.

Ifall fokus läggs på de breda systemaspekterna, har trästommar otvetydigt en betydande potential till att reducera utsläppen av CO₂. Som Gustavsson m fl (2005) modell illustrerar kan både skogsindustrins biprodukter och själva trästommarna utnyttjas i energisystemet och ersätta fossila bränslen. Hur mycket av denna potential som kommer att realiseras är inte lika självklart. Det beror bland annat på hur energisystemet reagerar på tillförseln av biobränsle från trästommarnas livscykel. En djupare analys krävs för att slå fast till hur stor del biprodukterna konkurrerar med fossila bränslen istället för andra förnybara energislager. När byggnaderna rivs om flera decennier är det inte säkert att det ens finns fossila bränslen att ersätta i produktionen av värme och elenergi. Ett rimligt, men inte säkert, scenario är att virket när husen väl rivs inte kan ersätta olja eller naturgas men däremot kan användas för att minska förbrukningen av kol i elkraftverk på kontinenten.

Hur mycket trästommarna påverkar utsläppen av växthusgaser beror också på hur rivningsvirket påverkar avfallssystemet. Även här är osäkerheten stor, eftersom det handlar om system och effekter långt in i framtiden. Om det finns outnyttjad kapacitet för avfallsförbränning, eller om avfallsförbränningen lätt kan byggas ut, är det rimligt att anta att rivningsvirke från svenska byggnader kommer att eldas upp och bidra till avfallssystemets värme- och elproduktion. Annars är risken stor att rivningen av byggnaderna kommer att leda till ökad deponering någonstans i världen. Deponering av brännbart avfall är inte längre tillåtet i Sverige, men dominerar än så länge i de flesta andra länder. Deponering av rivningsvirke riskerar att leda till betydande utsläpp av metan. Det kan helt eliminera trästommarnas potential till att reducera utsläppen av växthusgaser.

Hur mycket trästommarna påverkar utsläppen av växthusgaser beror slutligen också på hur skogsbruket påverkas. Kommer en ökad användning av trästommar att leda till ökad skogsproduktion, eller till att produktionen av andra skogsprodukter minskar? I det senare fallet påverkar trästommarna CO₂-utsläppen betydligt mindre, och det blir aktuellt att undersöka om just trästommar är rätt användningsområde för skogsråvaran. Något som talar för att stommar är ett bra användningsområde för trä är att de är en långlivad produkt som håller kolet lagrat i flera decennier. Om träet ersätter betong minskar dessutom utsläppen av CO₂ från kalcinering, vilket innebär en tydlig miljövinst. Om träet ersätter stål beror miljövinsten på hur produktionen av stålstommar påverkar marknaden för skrotbaserat och malmbaserat stål. Om det främst är produktionen av malmbaserat stål som påverkas, minskar CO₂-utsläppen från bland annat koks- och masugnar, vilket även det innebär en tydlig miljövinst. Om det är produktionen av skrotbaserat stål som påverkas beror miljövinsten bland annat på vilken elproduktion som påverkas av stålugnarnas elförbrukning.

11.2 Kompletteringar av utredningarna

Gustavsson m fl (2005), Bowyer m fl (2005) och Petersen & Solberg (2002) har fångat upp olika delar av de breda systemaspekterna. En djupare granskning av Bowyer m fl (2005) krävs för att kunna bedöma om deras analys av breda systemaspekter är intressant att bygga vidare på. Särskilt deras modellering av inlagringen av kol i skogen behöver granskas mer noggrant.

De två andra studierna ger dock i sig värdefull kunskap om de breda systemaspekterna, och de går att bygga vidare på för att få ytterligare kunskap. Studien som genomfördes av Gustavsson m fl kan kompletteras med fler typer av konstruktioner, t ex stålstommar. Den kan också kompletteras med fler scenarier för avfallshanteringen och med realistiska antaganden om vilken energi som faktiskt ersätts av det biobränsle som produceras i de studerade livscyklerna. Detta för att undersöka de realistiska effekterna av trästommar, snarare än trästommarnas potential till att bidra till reducerade CO₂-utsläpp. Slutligen kan Gustavsson m fl (2005) kompletteras med en analys av det rimliga ödet för skog som sparas genom användning av betongstommar. En sådan analys skulle behöva svara på flera delfrågor:

- hur viktig är tillgången respektive efterfrågan på trä för hur mycket trä som faktiskt används?
- vilken typ av skogsbruk påverkas om efterfrågan på trä ändras? och
- till vad används trä från denna skogsmark om det inte används för produktion av trästommar?
- hur påverkar ändringen i produktion inlagringen av kol i skog och mark, inlagringen av kol i skogsindustrins produkter, och energisystemet?

Även Petersen & Solberg (2002) kan kompletteras med fler konstruktioner. Den kan också kompletteras genom en noggrannare analys av några viktiga aspekter där författarna använt olika scenarier. Det går t ex att ta reda på i hur stor utsträckning som stålstommar produceras från

skrotbaserat stål. Det går också att göra rimliga bedömningar av vilken stålproduktion som påverkas av en förändrad efterfrågan på stålstommar, vilket inte nödvändigtvis är samma sak. Och det går att göra rimliga scenarier över vilken energi som ersätts i ett framtida energisystem när den studerade byggnaden rivs.

På detta sätt kan kunskapen om de breda systemaspekterna bli mer fullständig, relevant och precis. Men osäkerheten kommer alltid att vara betydande, eftersom många av de breda systemaspekterna alltid är osäkra. Det gäller exempelvis hur energisystemet är sammansatt när byggnaderna rivs flera decennier in i framtiden, och vad som händer med materialet efter rivning. Osäkerheten är också stor i analyser av hur marknaden för olika material (trä, stål mm) påverkas av en ökad användning av dessa material i byggnader.

På grund av den stora osäkerheten riskerar studiernas resultat att påverkas kraftigt av subjektiva antaganden. Dessutom kommer viktiga metodval i LCAer och liknande typer av systemanalys alltid att vara beroende av värderingar, perspektiv och förkunskaper hos den grupp som genomför studien. Det betyder att det inte går att få objektiva svar på om och hur mycket CO₂-utsläppen minskar då trä används som stommaterial.

Ändå kan resultat från denna typ av systemanalys användas som underlag för policybeslut. Istället för att sikta på objektivitet bör man då sträva efter att få bred acceptans för studiens metodval och därmed för dess resultat. Det sker antagligen lättare om metodvalen baseras på kunskap och perspektiv från alla involverade parter. De flesta av studierna i denna översikt - inklusive de som gjordes av Gustavsson m fl (2005), Bowyer m fl (2005) och Petersen & Solberg (2002) - verkar ha genomförts i samverkan med skogsforskare och/eller skogsindustrin. En studie har delfinansierats av cementindustrin. För att få ett mer robust underlag för policybeslut kan en studie genomföras med deltagande av forskare och/eller industrirepresentanter från alla de konkurrerande branscherna.

12 Referenser

- Adalberth K. (2000) Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings. Doktorsavhandling, Byggnadsfysik, Lunds universitet.
- Bowyer J, Briggs D, Lippke B, Perez-Garcia J, Wilson J. (2005) Life Cycle Environmental Performance of Renewable Building Materials in the Context of Residential Construction - Phase I Research Report. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. URL: http://www.corrim.org/reports/2005/final_report/MainReport5clean072205.pdf.
- Björklund T m fl. (1996) *LCA of Building Frame Structures* Report 1996:8. Teknisk miljöplanering, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Brunklaus B, Baumann H. (2002) Vad innebär ett ökat träbyggande i Sverige för miljön? ESA-rapport 2002:6. Miljösystemanalys, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- CWC. (2004) Energy and the Environment in Residential Construction. Sustainable Building Series No. 1, Canadian Wood Council. URL: <http://www.cwc.ca/pdfs/EnergyAndEnvironment.pdf>.
- Eriksson P-E. (2003) Comparative LCA:s for wood construction and other construction methods – Energy use and GHG emissions. Skogsindustrierna, Stockholm.
- Eriksson P-E. (2004) Comparative LCA:s for Wood and other Construction Methods – Energy use and GHG emissions. Swedish Wood Association. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2004. Lahti, Finland. Sida 183-188.
- Gustavsson L, Sathre R. (2004) Variability in energy and carbon dioxide balances of wood- and concrete-framed buildings, 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 Maj 2004, Rom, Italien.
- Gustavsson L, Sathre R. (2005) Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. Building and Environment (under tryckning).
- Gustavsson L, Pingoud K, Sathre R. (2005) Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change (under tryckning).
- Isakson P m fl (1984) Refererad till i Adalberth K. (2000) Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings. Doktorsavhandling, Byggnadsfysik, Lunds universitet, sida 25.
- Hirsch JJ. (2002) eQuest 2.55b. Energy Design Resources, Camarillo CA, USA.
- Kotaji S, Schuurmans A, Edwards S, red. (2003) Life-cycle assessment in building and construction: A state-of-the-art report. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Bryssel, Belgien.
- Lippke B, Wilson J, Perez-Garcia J, Boqwyer J, Meil J. (2004) CORRIM: Life-cycle environmental performance of renewable building materials. Forest Products Journal. 54(6), 8-19.
- Perez-Garcia J, Lippke B, Comnick J, Manriquez C. (2004) CORRIM - Phase I Final Report - Module N - Tracking carbon from sequestration in the forest to wood products and substitution. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. URL: http://www.corrim.org/reports/final_report_2004/Module%20N%20-%20Carbon_Final_July%201.pdf.

- Person L. (1997) Tillämpning av livscykelanalys för byggnadskonstruktioner: Fallstudie av yttervägg och VAV-system i en kontorsbyggnad. Rapport 1997:1 CIT Ekologik, Göteborg.
- Petersen AK, Solberg B. (2002) Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport. *Environmental Science and Policy* 5(2): 169-182.
- Sathre R. (2005) Mittuniversitetet i Östersund. Personlig kommunikation.
- Sathre R, Gustavsson L. (2005) Energy and carbon balances of wood cascade chains. *Resources, Conservation and Recycling* (under tryckning).
- Sathre R, Gustavsson L, Pingoud K. (2004) Greenhouse gas balance implications of recovered construction wood in Sweden and Finland. Publicerad i Gallis C. (red.) *Proceedings of European COST E31 Conference on Management of Recovered Wood*, April 22-24, 2004. Tessaloniki, Grekland. Sida 264-279.
- Scheuer C, Keoleian GA, Reppe P. (2003) Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. *Energy and Buildings*. 35(10): 1049-1064.
- Steen, B. (1999) *A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000 – Models and Data of the Default Methods*. Center for Environmental Assessment of Products and Material Systems. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Winistorfer P, Chen Z, Lippke B, Stevens N. (2005) CORRIM - Phase I Final Report - Modules K, L and M (integrated) - Energy consumption and greenhouse gas emissions related to the use, maintenance and disposal of a residential structure. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. URL:
http://www.corrim.org/reports/2005/final_report/klm%206_26formatted.pdf.
- Öberg, M. (2005) Integrated Life Cycle Design – Applied to Swedish Concrete Multi-dwelling Buildings. Doktorsavhandling, Byggnadsmaterial, Lunds universitet.
- Öberg, M. (2006) Cementa. Personlig kommunikation.