



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 19046

Examensarbete 30 hp
September 2019

Analys av klimatpåverkan av byggnader i svenska LCA-studier

Kartläggning av utsläppskällor och kunskapsluckor

Mikaela Seleborg

Referat

Analys av klimatpåverkan av byggnader i svenska LCA-studier – kartläggning av utsläppskällor och kunskapsluckor

Mikaela Seleborg

Klimatförändringar orsakade av utsläpp av växthusgaser är ett globalt problem. I Sverige står byggbranschen för en stor del av landets klimatpåverkan och det i kombination med en expansiv samhällsbyggnad utgör en stor utmaning för framtiden. Kunskap om hur byggbranschen kan minska sina växthusgasutsläpp är därför relevant. I den här studien analyseras befintliga livscykelanalyser utförda på byggnader för att avgöra hur den totala klimatpåverkan för en byggnad fördelas över dess livscykel. Studien innefattar även närmare analys kring vad som orsakar betydande klimatpåverkan i olika skeden av en byggnads livscykel. En inventering av befintliga studier utfördes med metoden för en systematisk litteraturoversikt som grund där ett sökprotokoll utformas med sökord och sökstrategier. Materialet har sedan systematiskt gallrats enligt satta kriterier tills det slutgiltiga urvalet resulterade i 17 studier till analys. Dessa studiers resultat sammanställdes enligt moduluppdelningen i standarden Hållbarhet för byggnadsverk SS-EN 15978:2011, både i absoluta tal och andel av byggnadens totala klimatpåverkan. Modulerna, som motsvarar skeden i en byggnads livscykel, jämfördes med varandra för att utröna hur klimatpåverkan var fördelad över livscykeln. Bidragande faktorer inom varje modul studerades för att identifiera faktorer med betydande klimatpåverkan som orsakade en stor skillnad mot övriga moduler. Analysen visar på två skeden som har betydligt större klimatpåverkan än övriga: produktion av material och konstruktionsdelar samt drift av byggnaden. Faktorer som är betydande för dessa två skeden är användandet av betong, byggnadens beräknade livslängd samt andelen fossil el som används vid driften av byggnaden framförallt för uppvärmning. Analysmaterialet innehöll stora variationer i syfte och därmed tillvägagångssätt vilket försvårade analysen och visar på bristen av ett gemensamt arbetssätt. Denna studie synliggör behovet av fortsatta studier som berör biomaterial som kolsänka, framtida arbetssätt med livscykelanalyser, andra faktorer som markanvändning, skogsbruk och ekonomi samt miljöpåverkanskategorier utöver klimatpåverkan. Detta kan leda till ett utvecklat arbete med att minska byggbranschens klimatpåverkan.

Nyckelord: LCA, livscykelanalys, byggnad, klimatpåverkan, byggbranschen, SS-EN 15978:2011

Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Box 7032, SE-750 07 Uppsala

Abstract

Analysis of climate impact of buildings in Swedish LCA-studies – mapping of emission sources and gaps in knowledge

Mikaela Seleborg

Climate change as a result of greenhouse gas emissions is a global issue. A large part of Sweden's climate impact originates from the construction industry and in combination with an expansive urban planning it constitutes a big challenge for the future. Knowledge of how the construction industry can reduce its greenhouse gas emissions is therefore relevant. In this study, previous life cycle assessment studies on buildings were analyzed to determine how the total climate impact of a building is distributed over its life cycle. Included in this study is also a closer look on what causes considerable climate impact in the different stages of a building's life cycle. An inventory of previous studies was performed based on the method of a systematic literature review where a search protocol with search phrases and strategies are constructed. The material went through a systematic screening process according to certain criteria that resulted in 17 studies used for analysis. A matrix was made of the result of these studies according to the modules in the European standard Sustainability of construction works EN 15978:2011, with both absolute numbers and share of total impact. The modules, which represents different phases in a building's life cycle, were compared to each other to establish how climate impact was distributed over the life cycle. Contributing factors in each module were examined to identify factors with considerable climate impact causing modules to differ. The analysis showed two phases with noticeably bigger impact than the rest: production of materials and construction parts and the buildings use phase. Factors important for the impact from these two phases were the use of concrete, the buildings assumed life span and the amount of fossil electricity used during the use phase, in particular for heating. The analyzed material contained big variations in goal and scope and therefore also assessment approach which complicated the analysis and shows the lack of a unified assessment procedure. This study shows the need for more studies concerning embodied carbon emissions and the use of bio-based materials, strategies for using life cycle assessments in construction, other factors with impact on a building's sustainability such as land use, forestry, economy and environmental impact categories besides climate change. This could lead to further developed work on reducing climate impact from construction.

Keywords: LCA, life cycle assessment, building, construction, climate impact, SS-EN 15978:2011

Department for Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, Box 7032, SE-750 07 Uppsala, Sweden

ISSN 1401-5765

Förord

Det här examensarbetet motsvarande 30 hp är den sista pusselbiten till en civilingenjörsexamen i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Det har varit en chans för mig att lägga tid och engagemang på ett ämne jag tycker är intressant och som dessutom har relevans för framtiden. Arbetet har utförts med Peab som uppdragsgivare.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Elisabet Stadler, Miljöchef Peabkoncernen och Maria Franzén, Miljöspecialist affärsområde Bygg, Peab Sverige AB, som nappade på min fråga och tillsammans med mig utvecklade en problemformulering som nu utgör mitt examensarbete. Er erfarenhet av byggbranschen och er insikt i dess möjligheter och problem har varit värdefullt för mig. Jag vill också tacka min ämnesgranskare Torun Hammar, Postdoktor vid Institutionen för energi och teknik SLU, för din ämneskunskap, din erfarenhet av akademiskt arbete och de goda råd du bistått med som höjt kvaliteten på mitt arbete.

Slutligen vill jag tacka mig själv. Mycket slit har tagit mig hit och jag är stolt över det jag åstadkommit under min utbildning och inom ramen för detta arbete.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Analys av klimatpåverkan av byggnader i svenska LCA-studier – kartläggning av utsläppskällor och kunskapsluckor

Mikaela Seborg

Klimatförändringar är idag ett globalt erkänt problem som orsakas av utsläpp av växthusgaser, bland annat koldioxid, på grund av mänsklig aktivitet. I Sverige står byggbranschen för en stor del av utsläppen. I det här arbetet har fokus legat på att ta reda på om det finns särskilda faser av en byggnads livscykel som påverkar klimatet extra mycket. Det har gjorts genom att sammanställa utförda livscykelanalyser och analysera deras resultat. En livscykelanalys (LCA) studerar en produkts eller tjänsts miljöpåverkan, i det här fallet klimatpåverkan i form av utsläpp av växthusgaser. Det som utmärker en LCA är att miljöpåverkan studeras från hela livscykeln, för en byggnad är det bland annat påverkan från råvaruutvinning och tillverkning av material och konstruktionsdelar, transporter, uppförandet av själva byggnaden, tiden byggnaden används och sedan rivning och avfallshantering.

För att kunna göra transparenta och jämförbara analyser på byggnader finns standarden SS-EN 15978:2011. I standarden finns riktlinjer för vad som ska inkluderas, vilken enhet som ska användas för resultatet och hur beräkningar bör utföras i en livscykelanalys på en byggnad. För att kunna jämföra olika faser av livscykeln behöver den delas upp i olika delar, i standarden kallas dessa delar för moduler. Livscykeln delas upp i produktion av material och konstruktionsdelar, konstruktion av byggnaden inklusive transporter, drift (underhåll, renovering, uppvärmning, elförbrukning) samt slutfas (rivning, återvinning, avfallshantering). Utöver dessa faser finns ytterligare en modul som beskriver faktorer som ligger utanför den definierade livscykeln men som har en miljöpåverkan kopplad till byggnaden, till exempel energiåtervinning när byggnaden rivs och avfallet förbränns.

För att få en övergripande bild över utförda LCA-studier inom byggbranschen har en systematisk sökmätod använts för att hitta ”alla” utförda studier. För att arbetet inte skulle bli för stort har endast svenska studier publicerade efter 2008 inkluderats. Sökresultatet bestod av 767 studier som efter gallring blev 17 som låg till grund för analysen. De 17 studierna är alla livscykelanalyser på byggnader men de har olika syften och är av olika slag, d.v.s. det är en blandning av forskningsrapporter, konferensbidrag, vetenskapliga artiklar och examensarbeten.

Resultatet från alla studier sammanställdes och jämfördes modulvis. Till exempel jämfördes hur mycket växthusgasutsläpp som orsakats av produktionsfasen i de olika studierna. Sedan jämfördes även modulerna med varandra för att se om det fanns en viss modul med generellt större utsläpp. Analysen visade att studierna överlag kommer fram till samma sak. När andelen av klimatpåverkan som en viss fas står för jämförs är det tydligt att två moduler sticker ut. Produktion av material och konstruktionsdelar och driften av byggnaden, alltså till stor del uppvärmning av huset har stor inverkan på byggnadens klimatpåverkan. De övriga delarna, konstruktion, transport, underhåll och slutfas förekommer mer sällan i studierna samt har generellt en lägre klimatpåverkan. Det som däremot blir uppenbart när absoluta tal jämförs, alltså hur många kg växthusgaser som faktiskt släpps ut, är att utsläpp från produktionen är ungefär lika stora i alla studier

medan utsläppen från driftsfasen varierar kraftigt studierna emellan. Det betyder alltså att alla dessa studerade byggnader byggs på liknande sätt, är lika resurskrävande eller att de beräkningar som utförts är gjorda på liknande data och på liknande sätt. Det finns databaser och verktyg för att beräkna hur mycket växthusgaser ett visst material eller en byggdel släpper ut och har studierna använt samma verktyg och databaser blir resultatet liknande.

Att driften varierar så mycket beror helt enkelt på att det finns faktorer som har varierats mycket mellan studierna. Det handlar framförallt om hur länge man beräknar att byggnaden ska stå innan den rivs och hur huset värms upp, är det med direktverkande elvärme, värmepump eller fjärrvärme. Även hur elen som använts har producerats spelar stor roll, en stor andel fossil el ger en stor klimatpåverkan. I alla studier har antaganden gjorts, eftersom det inte går att veta exakt vilken el som kommer försörja huset eller när det kommer rivas eller renoveras. På grund av detta är det också svårt att jämföra olika studier med varandra och slutsatser som dras i denna rapport måste tolkas med det i åtanke. Det skiljer sig också hur studierna tolkat vad som ingår i varje modul och vilken noggrannhetsnivå studien har, inkluderas varje spik och skruv eller bara de större materialflödena.

Detta arbete identifierar framtida forskningsbehov och studier som skulle bidra till att byggbranschen kan minska sin klimatpåverkan: hur standarden eller användandet av den kan förbättras, studier kring faktorer som markanvändning, ekonomi och politik, studier där fler miljöpåverkanskategorier inkluderas som vattenförbrukning, nedbrytning av ozonlagret eller utsläpp av giftiga ämnen eller studier som undersöker hur biomaterial som trä kan användas, möjligheterna är många.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	SYFTE, MÅL OCH FRÅGETSÄLLNING	2
1.2	AVGRÄNSNINGAR.....	2
2	TEORI	2
2.1	LIVSCYKELANALYS	2
2.1.1	Utföra LCA.....	3
2.1.2	Livscykelanalys för byggnader.....	4
3	METOD.....	6
3.1	LITTERATURSÖK.....	6
3.1.1	Scopus.....	7
3.1.2	Digitala vetenskapliga arkivet – DiVA	8
3.1.3	Chalmers tekniska högskola	9
3.1.4	Lunds universitet	9
3.1.5	Sveriges lantbruksuniversitet.....	10
3.1.6	Sveriges byggindustrier	10
3.1.7	IVL Svenska Miljöinstitutet	10
3.1.8	Boverket	10
3.1.9	Svenska byggbranschens utvecklingsfond – SBUF	11
3.2	GALLRING	11
3.2.1	Första gallringen – baserat på titel.....	11
3.2.2	Andra gallringen – baserat på abstract	12
3.3	SLUTGILTIGT URVAL OCH SAMMANSTÄLLNING	12
3.4	ANALYSMETOD	13
4	RESULTAT LITTERATURÖVERSIKT	14
5	ANALYS.....	15
5.1	SAMMANSTÄLLNING AV DATA – GRUPP 1	15
5.2	SAMMANSTÄLLNING AV DATA – GRUPP 2	17
5.3	MODULERNAS KLIMATPÅVERKAN GRUPP 1	19
5.4	MODULERNAS KLIMATPÅVERKAN GRUPP 2	22
5.5	TOTAL KLIMATPÅVERKAN SAMTLIGA STUDIER	24
5.6	KLIMATPÅVERKAN INOM MODULERNA.....	25
5.6.1	Betydande klimatpåverkan från produktion och konstruktion (A1–5).....	25
5.6.2	Betydande klimatpåverkan från drift (B6).....	28
5.6.3	Betydande klimatpåverkan från övriga moduler	29

6	DISKUSSION	31
6.1	OSÄKERHETER.....	34
6.2	FORTSATTA STUDIER	35
7	SLUTSATSER	36
7.1	FÖRFATTARENS REKOMMENDATIONER.....	36
8	REFERENSER	37
	BILAGA A – SÖKSTRATEGIER.....	42
	BILAGA B – SAMMANSTÄLLNING AV STUDIER.....	45
	BILAGA C – SAMMANSTÄLLNING RESULTAT GRUPP 1.....	53
	BILAGA D – SAMMANSTÄLLNING RESULTAT GRUPP 2.....	56

1 INLEDNING

Klimatförändringar orsakade av utsläpp av växthusgaser¹ är idag ett reellt problem som påverkar hela världen. Sverige är ett av 194 länder som skrivit under Parisavtalet, ett avtal hörande till FN:s klimatkonvention (Smith, 2019). De medverkande länderna är överens om att den globala uppvärmningen ska hållas under 2 grader, helst under 1,5 grad (Smith, 2019). Sverige har satt upp mål för landets växthusgasutsläpp och 2045 ska nettoutsläppen av växthusgaser vara noll (Prop. 2016/17:146).

Bygg- och fastighetssektorn stod 2016 för ca 21 % av Sverige totala utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2019) och en minskning ses som nödvändig. Det motsvarar ca 12,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv), till det tillkommer även 8,2 miljoner ton CO₂-ekv från utsläpp utomlands orsakade av importerade varor (Boverket, 2019). Detta är mer än både flygets knappt 10 miljoner ton CO₂-ekv (Kamb & Larsson, 2019) och jordbrukets 6,9 miljoner ton CO₂-ekv (SCB, 2018) samma år. Byggsektorn består av byggindustrin (bygg- och anläggningsföretag), fastighetsbolag, arkitekter, tekniska konsulter och byggmaterialindustrierna (Byggipedia, n.d.).

I Sverige arbetar olika branscher för att minska sin klimatpåverkan bland annat i ett initiativ kallat *Fossilfritt Sverige*. Det är ett initiativ av regeringen som inför klimatmötet i Paris 2015 syftade till att Sverige skulle bli ett av världens första fossilfria välfärdsländer (Fossilfritt Sverige, n.d.). En av de anslutna branscherna är byggbranschen där många av de stora aktörerna tillsammans arbetar enligt *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft Bygg- och anläggningssektorn*. Den är utvecklad av branschen själv tillsammans med forskare och experter (Fossilfritt Sverige, 2018). Färdplanen visar på möjligheter och hinder för den fossilfria utvecklingen inom bygg- och anläggningsbranschen och sätter upp mål för hur branschen kan bli klimatneutral 2045. Ett av dessa mål är halverad klimatpåverkan 2030 jämfört med 2015, som enligt färdplanen är möjligt med befintlig teknik. För att nå hela vägen till klimatneutralitet krävs dock mer.

Ett steg i rätt riktning är den nya lagen om offentlig upphandling i Sverige (2016:45). Den gäller från den första januari 2017 och medför att offentliga upphandlare kan ställa miljökrav och krav om livscykelperspektiv. En livscykelanalys (LCA) studerar miljöpåverkan från en produkt eller process under hela, i det här fallet husets, livscykel (SIS, 2011). Att studera hur livscykelanalyser utförs idag samt vilka slutsatser dessa analyser dragit är ett viktigt steg i arbetet med att utveckla användandet av dessa studier. Det är också av vikt att identifiera de faser i en byggnads livscykel som har betydande klimatpåverkan och vad det beror på, för att kunna förändra dessa och på så sätt utveckla byggbranschens arbete med minskad klimatpåverkan från byggnader. De senaste 30 åren har mycket arbete lagts på att minska byggbranschens energiförbrukning och dess klimatpåverkan. Skärpta energikrav, mindre andel fossil energi och utveckling av Sveriges elförsörjning har gett resultat. Klimatpåverkan från driftskedet av byggnader har gått från ca 70 % av byggbranschens totala klimatpåverkan 1993 till att 2018 vara ungefär

¹ Växthusgaser är de gaser som genom att absorbera och emittera långvågig strålning i atmosfären utgör grunden för växthuseffekten. De vanligaste växthusgaserna i atmosfären är vattenånga, koldioxid, dikväveoxid, metan och ozon (IPCC, 2018).

lika stor som klimatpåverkan från produktionsfasen (Boverket, 2018). Detta är en stor förändring och frågan är nu hur branschen ska gå vidare.

Det här examensarbetet görs på uppdrag av Peab som önskar öka sin kunskap om hur livscykelanalyser kan användas i arbetet med att minska byggbranschens miljöpåverkan. Peab är Sveriges största bygg- och anläggningsföretag med viss verksamhet i Norge och Finland. Kunskap om ett bygges eller en byggnads miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv efterfrågas allt oftare av beställare². Hittills har det framför allt handlat om att dokumentera utfall av klimat- och miljöpåverkan för ett visst projekt och att bygga kunskap kring betydande miljöaspekter³. Framöver ser Peab ett ökat fokus på LCA i tidiga skeden som kan användas för att styra projekt mot minskad klimat- och miljöbelastning⁴.

1.1 SYFTE, MÅL OCH FRÅGETSÄLLNING

Syftet med detta arbete är att öka kunskapen kring livscykelanalyser inom byggsektorn genom att sammanställa utförda livscykelanalyser och analysera dess resultat. Analysen ska resultera i slutsatser och rekommendationer till uppdragsgivaren Peab att använda i vidareutveckling av tillämpning av livscykelanalyser. För att dra slutsatser och utforma rekommendationer kring fokusområden för framtida studier rörande LCA i byggsektorn kommer följande frågeställningar besvaras:

1. *Vilka moment i en byggnads livscykel innebär störst klimatpåverkan?*
2. *Vad i respektive moment är mest betydande?*
3. *Vilka framtida forskningsbehov finns?*

1.2 AVGRÄNSNINGAR

Studien omfattar ej anläggningsverksamhet.

Sammanställningen av utförda studier omfattar endast:

- Studier relevanta för den svenska marknaden.
- Studier tillgängliga för författaren.
- Studier genomförda de senaste 10 åren (efter 2008).
- Studier där objektet är konstruktionsdelar och byggnader, ej enskilda produkter.
- Studier som berör nyproduktion av en byggnad, ej renoveringar.
- Studier som berör en kvantifierbar klimatpåverkan angett i växthusgasutsläpp.

2 TEORI

2.1 LIVSCYKELANALYS

En livscykelanalys (LCA) studerar miljöpåverkan från en produkts hela livscykel, från vaggan till graven, d.v.s. från råvaruutvinning till avfallshantering (Baumann & Tillman, 2004). Olika miljöpåverkanskategorier beaktas som berör resursanvändning,

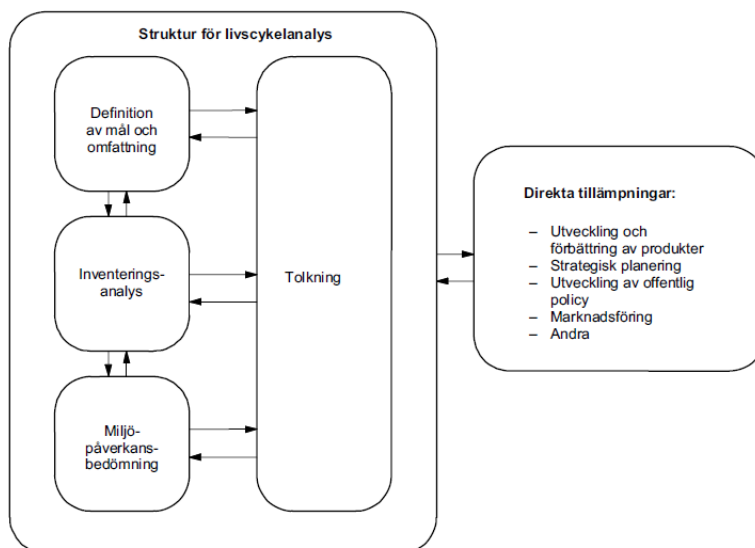
^{2,3,4} Elisabet Stadler (Miljöchef Peabkoncernen, Peab AB, handledare) och Maria Franzén (Miljöspecialist affärsområde Bygg, Peab Sverige AB, handledare)

hälsoeffekter och ekologiska effekter (SIS, 2006). En LCA kan användas för att kvantifiera eller uppskatta miljöpåverkan från en produkt eller tjänst, jämföra olika produktions- eller materialalternativ, jämföra olika typer av miljöpåverkan från en produkt eller för att identifiera så kallade hotspots i produktionskedjan (del av kedjan med särskilt betydelsefull miljöpåverkan) (Matthews et al., 2014). Att studera hela livscykeln är av vikt av flera anledningar. Att byta till ett material med mindre miljöpåverkan från produktionsprocessen kan till exempel innebära en högre påverkan från användningsfasen. Det är även viktigt att beakta olika typer av miljöpåverkan, som klimatpåverkan, vattenförbrukning eller toxicitet. Ett material med låg klimatpåverkan kan till exempel kräva stora mängder vatten.

En LCA kan inte enskilt avgöra om en produkt eller ett system är hållbart utan beaktar endast ekologisk hållbarhet enligt satta ramar för den aktuella analysen. Andra aspekter av hållbarhet som till exempel kostnader täcks inte in i en LCA och därför kan inte LCA ensamt utgöra beslutsunderlag (Matthews et al., 2014).

2.1.1 Utföra LCA

Tillvägagångssättet för att utföra en LCA består av fyra steg (Figur 1), enligt den internationella standarden ISO 14040:2006 (svensk version SS-EN ISO 14040:2006), *Definition av mål och omfattning, Inventeringsanalys, Miljöpåverkansbedömning och Tolkning* (SIS, 2006). Dessa fyra steg är iterativa, vilket betyder att det ”fjärde” steget *Tolkning* sker kontinuerligt och de föregående stegen kan och bör justeras och omarbetas under arbetets gång.



Figur 1. Arbetsgång för utförande av LCA enligt SS-EN ISO 14040:2006⁵.

Initialt definieras studiens omfattning: vilket system studeras, definition av funktionell enhet (FE) som används, hur systemgränserna ser ut, vilka miljöpåverkanskategorier som inkluderas och vilken metod som används (Matthews et al., 2014). Funktionell enhet är basen för beräkningar i analysen och det är den enheten som används när resultatet presenteras (Baumann & Tillman, 2004). Den bör enligt Matthews et al. (2014) väljas så

⁵Figur lånad med tillåtelse av SIS.

den stämmer överens med studiens mål och måste innehålla ett kvantitativt mått. För en LCA på en byggnad kan den funktionella enheten vara $m^2 A_{temp}$, vilket betyder att miljöpåverkan beräknas per kvadratmeter uppvärmd boendeyta, det behöver alltså inte vara objektet i sig som är funktionell enhet (Liljenström et al., 2014). Systemgränser beskriver vad som inkluderas i analysen och kan vara avgränsningar geografiskt, delar av livscykeln eller analysperiod.

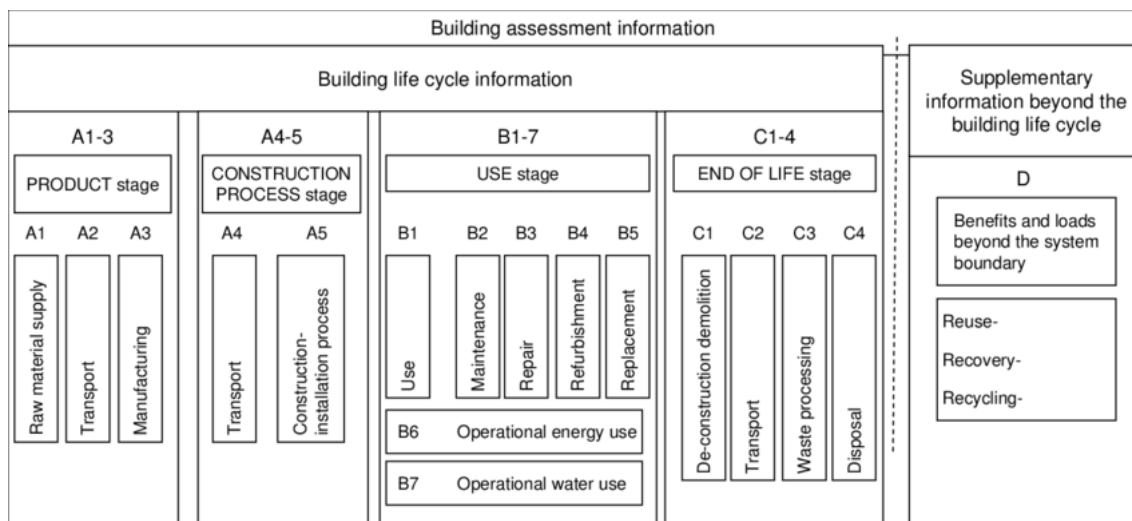
När mål och omfattning är definierat sker inventeringsanalysen som innebär definition av systemet, ofta med hjälp av ett processträd eller flödesschema, insamling av data utifrån syfte och omfattning samt utformning av beräkningsmodell, ofta i någon typ av LCA-programvara som SimaPro eller GaBi, även datahanteringsprogram som Excel används (Matthews et al., 2014). Slutligen normaliseras all data till den funktionella enheten (Baumann & Tillman, 2004). Vid insamling av data finns olika tillvägagångssätt och olika datakällor att använda. Det finns flertalet databaser med LCA-data och det går också att samla specifika data för en viss produkt till exempel genom att kontakta tillverkaren (Matthews et al., 2014). Beroende på vilken data som finns tillgänglig kan omfattning och syfte behöva justeras, då LCA är en iterativ process (SIS, 2006).

Miljöpåverkansbedömningen väger samman data från inventeringen och klassificerar data till miljöpåverkanskategorier som kan vara energi- eller vattenförbrukning, toxiska effekter, klimatförändringar, försurning, övergödning eller ozonuttunnning (Bovea & Powell, 2016). Samma utsläpp av en viss substans kan ha påverkan på flera miljöpåverkanskategorier (Matthews et al., 2014). En process som orsakar utsläpp av flera olika växthusgaser har en total klimatpåverkan om klimatpåverkan från de olika växthusgaserna summeras (Matthews et al., 2014). Detta kan göras genom att omvandla data till Global Warming Potential (GWP) med enheten koldioxidekvivalenter (CO_2 -ekv) definierat av FN:s klimatpanel (IPCC, 2014). Detta kallas karaktärisering och det finns andra karaktäriseringsmetoder för ytterligare miljöpåverkanskategorier (Matthews et al., 2014).

Tolkningsfasen sker parallellt med de andra faserna och innebär analys av resultatet, utvärdering av syfte och omfattning samt datakvalitet (SIS, 2006). En diskussion förs kring analysen och slutsatser och rekommendation utformas. Det är även här en känslighetsanalys kan genomföras. Det görs för att avgöra hur stor påverkan en viss parameter har på resultatet och det kan till exempel innebära att man testar scenarier med olika livslängd på produkten (Baumann & Tillman, 2004).

2.1.2 Livscykelanalys för byggnader

För att kunna göra transparenta och jämförbara analyser på byggnader finns europastandarden EN 15978:2011 som även gäller som svensk standard (SS-EN 15978:2011) (SIS, 2011). I standarden finns riktlinjer för arbetsgång, funktionell enhet, analysperiod, systemgränser, miljöpåverkanskategorier och karaktärisering av data, vilken data som används och hur beräkningar bör utföras för att beräkna byggnaders miljöprestanda. Där finns även en uppdelning av livscykeln i moduler enligt Figur 2. Det är även definierat vad som bör ingå i respektive modul och hur resultatet presenteras.



Figur 2. Livscykeln för en byggnad uppdelad i moduler enligt SS-EN 15978:2011⁶.

I standarden SS-EN 15978:2011 anges ingående vad som ingår i varje modul, här följer en översiktlig beskrivning av modulerna A–D. Modul A1–3 omfattar produktionsfasen av en byggnad vilket kallas vagga till grind (cradle-to-gate) där grind syftar på fabriksgrinden. Produktionsfasen innefattar råvaruutvinning och behandling av råvaror (A1), transport till tillverkare (A2) och tillverkning av material och byggdelar (A3). Följande fas, konstruktion, består av modulerna A4 och A5 som inkluderar transport av material och byggdelar från fabriksgrind till byggplatsen samt transport av verktyg och maskiner och slutligen konstruktion av byggnaden. A5 inkluderar även processer nödvändiga för konstruktionen som uppvärmning och kylning samt avfallshantering av restmaterial.

Modulerna B1–7 beskriver driftsfasen av byggnadens livscykel. B1 täcker miljöpåverkan från förväntad användning av komponenter i byggnaden, till exempel golv eller tak som släpper ifrån sig substanser. Det kan också innebära en klimatpåverkan i form av karbonatisering av betong i och med vilken betong tar upp koldioxid från luften (Andersson et al., 2013). B2 innehåller underhåll, B3 reparationer, B4 byte av komponenter och B5 renovering, med tillhörande transporter och processer, som produktion av ersättningsdelar och avfallshantering. I modulerna B6 och B7 ingår energi- respektive vattenförbrukning. Energiförbrukningen inkluderar uppvärmning, kylning, ventilation, varmvatten till hushåll, belysning och kontroll- och automatiseringssystem.

C-modulerna beskriver byggnadens slutfas, från rivning (C1) och bortforsling (C2) till kvittblivning (C4). Modulen C3 beskriver återanvändning och återvinning. Sista steget i livscykeln (C4) innefattar kvittblivning av avfall till exempel genom förbränning eller deponi. Modul D beskriver belastningar och fördelar utanför systemgränserna till exempel utvunnen energi från återvinning av avfall. Detta kan ha stora effekter när biomaterial som trä studeras. Det kan då handla om fördelar från undvikta utsläpp eller biogent kol lagrat i trä under perioden som byggnaden är i bruk, utöver energiåtervinning från restprodukter och avfall. Biogent kol är kol som är en del av den naturliga kolcykeln, alltså i det här fallet koldioxid som binds in i träd när de växer, lagras i träet och sedan

⁶ Figur lånad med tillåtelse av SIS.

blir biogena koldioxidutsläpp till exempel när trävaror förbränns för energiåtervinning (Peñaloza, 2015).

Undvikta utsläpp är en term som används när restprodukter från till exempel skogsindustrin kan användas som bränsle istället för råmaterial från fossila källor, vars utsläpp då undviks (Matthews et al., 2014). Att räkna kol bundet i trä som en fördel, utan att ta hänsyn till avfallshanteringen, kan dock vara missvisande (Larsson et al., 2016). Larsson et al. (2016) menar också på att trä ofta anses vara ett klimatneutralt material då det binder lika mycket koldioxid från atmosfären som det sedan släpper ut, som en del av det naturliga kolkretsloppet, men att det är missvisande i en livscykelanalys då biogena och fossila koldioxidutsläpp bör separeras. Metodik för att beräkna biogena koldioxidutsläpp skiljer sig mellan olika riktlinjer och standarder. I standarden för LCA på byggnader (EN 15978:2011) finns inga krav på hur detta ska hanteras.

3 METOD

3.1 LITTERATURSÖK

För att få en övergripande bild över utförda LCA-studier inom byggbranschen har sökmetoden för en systematisk litteraturöversikt utgjort grunden för litteratursöket. Metoden är applicerbar på studier där målet är att hitta ”alla” studier inom ett visst område. I en systematisk litteraturöversikt ska ett sökprotokoll utformas med en tydlig forskningsfråga samt inklusions- och exklusionskriterier (beskrivs i avsnitt 1.2 och 3.2) innan sökningen påbörjas (Karolinska Institutet Universitetsbiblioteket, 2019). Sökprotokollet ska även beskriva vilka sökord som används och i vilka källor sökningen kommer ske. I denna studie har en checklista för systematiska litteraturstudier (PRISMA, 2009) använts som vägledning för litteratursöket, eftersom målet var att göra en så heltäckande sökning som möjlig. Vissa punkter har uteslutits eller modifierats för att passa syftet.

Grunden för alla sökningar utgjordes av två sökblock och två inklusionskriterier. De inklusionskriterier som båda skulle uppfyllas var *svenska studier* och *studier genomförda de senaste 10 åren*. I denna litteratursökning betydde det att materialet som hittades skulle ha minst en svensk utgivare (lärosäte, myndighet, företag, organisation etc.) och vara publicerat efter 2008. I gallringen (avsnitt 3.2) preciserades kriteriet *svensk studie* ytterligare.

Sökblocken kallades LCA-blocket och bygg-blocket och representerade de två delarna av målet med sökningen, det vill säga en översikt över *LCA-studier* gjorda inom *byggbranschen*. Inom varje block fanns sökord på svenska och engelska som täckte så mycket som möjligt utan att inkludera för smala studier (Tabell 1). Dessa kompletterades under sökningens gång och därför fanns inte alla ord med i de första sökningarna.

Tabell 1. Sökorden inom de två sökblocken

LCA-blocket	Bygg-blocket
LCA (livscykelanalys, life cycle assessment)	Bygg* (byggbranschen, byggsektorn, byggnation, byggnad)
Livscykel* (livscykelanalys, livscykelperspektiv)	Hus
”life cycle” (life cycle assessment, life cycle analysis, life cycle)	Construction
	Building

Sökningen skedde i akademiska databaser och söktjänster hos branschaktuella organisationer beskrivna i avsnitt 3.1.1–3.1.9. Även hur den slutgiltiga sökningen gått till beskrivs för respektive källa. Endast digitala källor användes eftersom materialet som eftersöktes var publicerat tidigare 2009 och bedömningen gjordes att relevant material fanns digitalt publicerat (Friberg, 2011). Det finns fler internationella databaser och samlingar än Scopus men eftersom fokus låg på svenska studier har sökningen i internationella databaser begränsats.

En initial sökprocess utfördes i varje källa för att utforska hur sökfunktionen fungerade och för att få ett preliminärt sökresultat. Dessa beskrivs i detalj för varje källa i bilaga A, samt i avsnitt 3.1.1 för sökningen i Scopus, som mycket av resterande sökningar är baserade på. Efter de initiala sökprocesserna jämfördes alla sökningar. De strategier som använts för att begränsa sökandet och antal resultat sammanställdes (Tabell 2). I Tabell 2 finns även motivering till varför och när sökstrategierna användes. För att få en så täckande sökning som möjligt användes listan med sökord i Tabell 1 för att se till att sökord användes konsekvent, särskilt sådana som tillkommit senare i sökprocessen. Dessa testades för varje källa i den mån det var möjligt. Källorna har olika sökfunktioner som stödjer mer eller mindre avancerade sökningar, det var alltså inte alltid möjligt att utföra den önskvärda sökningen. Sökningen fick då anpassas efter källan och dessa blev de slutgiltiga sökningarna från vilka materialet insamlats. En sammanfattning av vilka strategier och sökord som använts för varje källa finns i bilaga A. De slutgiltiga sökningarna finns beskrivna för varje källa i avsnitten 3.1.1–3.1.9.

Tabell 2. Sökstrategier utifrån egenskaper hos källan

Källans förutsättning	Avgränsande strategi
Endast studentarbeten	Söker på svenska
Endast forskning	Söker på engelska
Både studentarbeten och forskning	Söker både svenska och engelska
Källan kan inte hantera flera sökblock och har huvudområde bygg	Söker endast på LCA-blocket
Källan kan inte hantera flera sökblock och har huvudområde miljö	Söker endast på bygg-blocket

3.1.1 Scopus

Scopus är den största databasen innehållande abstract för vetenskapligt granskad (peer-reviewed) litteratur inom ämnesområdena naturvetenskap, teknik, medicin, samhällsvetenskap samt konst och humaniora (Elsevier B.V., 2017). Scopus har funnits sedan 2004 och omfattar bl.a. böcker, vetenskapliga artiklar och konferensbidrag från

över 5000 internationella utgivare (Elsevier B.V., 2017). En del material finns tillgängligt i sin helhet (open access) medan annat kräver licens. Båda typerna inkluderades i denna studie. Litteratursök i Scopus genomfördes med den avancerade sökfunktionen (Elsevier B.V., n.d.) enligt Tabell 3.

Tabell 3. Sökstrategi i Scopus, booleska operatörer⁷ och avgränsningar markerade i grått

Sökning	Antal resultat	Strategi
(livscykel* OR lca) AND (bygg* OR hus) AND PUBYEAR > 2008 AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Sweden"))	108	Uppfyller kraven publiceringsår efter 2008 och svensk studie. Rimlig mängd men risk för många missar på grund av att endast svenska sökord används.
(livscykel* OR lca OR "life cycle") AND (bygg* OR hus OR construction) AND PUBYEAR > 2008 AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Sweden"))	1339	Med både engelska och svenska sökord blir resultaten för många. Smalare sökning till nästa.
TITLE-ABS-KEY ((livscykel* OR lca OR "life cycle") AND (bygg* OR hus OR building* OR construction)) AND PUBYEAR > 2008 AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Sweden"))	283	Avgränsade sökningen till titel, abstract och nyckelord. Lade även till sökordet building.

3.1.2 Digitala vetenskapliga arkivet – DiVA

DiVA är en sök- och publiceringstjänst för forskningspublikationer och studentarbeten från 49 anslutna lärosäten och forskningsinstitutioner (DiVA, n.d.). Av Sveriges universitet och högskolor som inte fanns med i DiVA var tre relevanta: Chalmers tekniska högskola, Lunds universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Publikationer från dessa lärosäten har därför sökts enskilt, se avsnitten 3.1.3–3.1.5. Litteratursök i DiVA genomfördes i funktionen ”Avancerad sökning – Forskningspublikationer” och i ”Avancerad sökning – Studentarbeten” i DiVA och skedde enligt Tabell 4.

⁷ De booleska operatörerna kommer omnämnas på engelska, som är språket som använts i sökningar, det vill säga AND och OR.

Tabell 4. De två slutgiltiga söken i DiVA, booleska operatörer i grått.

	Fritextsökning	Avgränsningar	Antal resultat
Forskning	("life cycle" AND construction) OR ("life cycle" AND building)	Publ.år: 2009–2019 Typ av publ.: Refereegranskat + övrigt vetenskapligt Exkl. konferensbidrag Nyckelord: "life cycle"	133
Student	(livscykel* AND bygg*) OR (livscykel* AND hus)	Publ.år: 2009–2019 Nyckelord: livscykel*	81

3.1.3 Chalmers tekniska högskola

Research.chalmers.se samlar information om forskning som sker vid Chalmers tekniska högskola (Chalmers tekniska högskola, n.d.). Här finns alla forskningspublikationer publicerade av den samme (ibid.). Sökning gjordes med fritextsök (Tabell 5) och resultaten sorterades på publiceringsår manuellt eftersom sökfunktionen endast kunde hantera val av ett publiceringsår i taget. Eftersom sökfunktionen var begränsad testades sökord i olika kombinationer för att hitta den optimala sökningen med hanterbart och relevant material som resultat. Fritextsökot använder sig endast av den booleska operatören AND så fler sökord gav färre resultat. Studentarbeten.chalmers.se samlar och publicerar studentarbeten från Chalmers tekniska högskola. Den utökade sökfunktionen som användes har en fritextfunktion (Chalmers tekniska högskola, n.d.) och även här användes endast den booleska operatören AND.

Tabell 5. De slutgiltiga söken i Research.chalmers.se och Studentarbeten.chalmers.se

	Fritextsök	Antal resultat
Forskning	Ica "life cycle" construction building*	34
Student	livscykelanalys	13

3.1.4 Lunds universitet

Sökning skedde i Lunds universitets biblioteks arkiv och söktjänst Lund University Publications (LUP) (Lund University Libraries, n.d.). Här finns alla publikationer gjorda av forskare på Lunds universitet (Lund University Libraries, n.d.). Sökning genomfördes enligt Tabell 6. Det finns även en databas för studentarbeten men den fungerar inte och har därför exkluderats i sökningen.

Tabell 6. Slutgiltig sökning i Lund University Publications

Fritextsök	Avgränsningar	Antal resultat
Construction OR building*	Publ.år: 2009–2019 Endast peer-reviewed (för att undvika populärvetenskapligt material) Nyckelord: lca OR "life cycle"	17

3.1.5 Sveriges lantbruksuniversitet

Avhandlingar producerade vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) finns sedan 2003 i det digitala arkivet Epsilon (SLU, n.d.) och där har sökningen skett enligt Tabell 7. Studentarbeten från SLU finns även de i Epsilon och söktes via en separat sökfunktion (SLU, n.d.).

Tabell 7. Slutgiltiga sökningar i Sveriges lantbruksuniversitets digitala arkiv Epsilon

	Fritextsök	Avgränsningar	Antal resultat
Forskning	Construction OR building	Publ.år: 2009-2019 Nyckelord: "life cycle" OR lca	38
Student	Bygg* OR hus	Publ.år: 2009–2019 Nyckelord: livscykel* OR lca	17

3.1.6 Sveriges byggindustrier

Branschorganisationen för svenska byggföretag heter Sveriges byggindustrier och har drygt 3600 medlemsföretag som är bygg-, anläggning- och specialföretag (Sveriges byggindustrier, n.d.). Sökning skedde bland publikationer under kategorin "Energi och miljö" (Sveriges byggindustrier, n.d.). Någon avancerad sökfunktion fanns inte så gallring på publiceringsår skedde manuellt. På grund av det hanterbara antalet i kategorin och att allt material var relevant för byggbranschen i och med utgivare gjordes ingen ytterligare gallring, utöver kategori och publiceringsår, i detta skede. Sökningen genererade 32 resultat.

3.1.7 IVL Svenska Miljöinstitutet

Staten och näringslivet gemensamt grundade IVL 1966 och det var då Sveriges första miljöforskningsinstitut. De bedriver tillämpad forskning och konsultverksamhet som idag är finansierad av staten och näringslivet (IVL, n.d.). Sökning skedde bland publikationer med sökorden livscykel* och bygg*. Filtrering skedde på publiceringsår. Sökningen genererade tio resultat.

3.1.8 Boverket

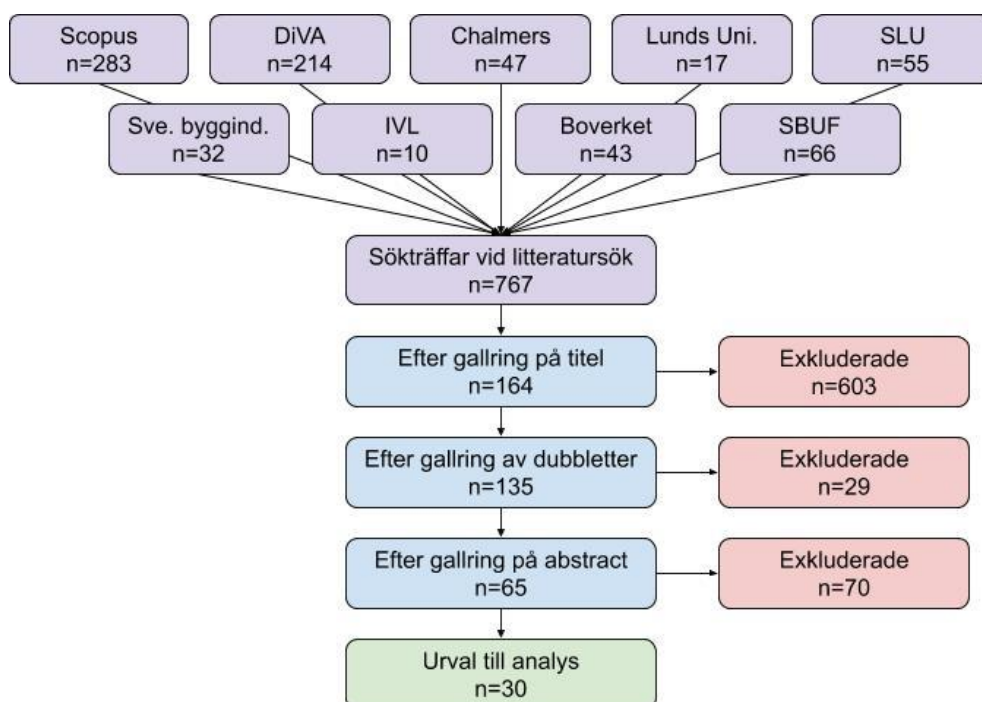
Boverket är "myndigheten för samhällsplanering, byggande och boende." (Boverket, 2017). Sökning skedde bland publikationer (Boverket, n.d.) med sökordet livscykel* och filtrering på publiceringsår skedde manuellt. Sökningen genererade 43 resultat.

3.1.9 Svenska byggbranschens utvecklingsfond – SBUF

SBUF är en fond som finansierar för byggbranschen relevant forskning av främst företag men även lärosäten och andra organisationer (SBUF, 2013). Sökning skedde i sökfunktionen med sökorden ”life cycle”, lca och livscykel ett i taget. Publikationstyp valdes till projekt och avhandlingar och publiceringsår filtrerades manuellt. De tre separata sökningarna lades ihop. Sökningen genererade 66 resultat.

3.2 GALLRING

För att få materialet till en hanterbar mängd och i slutänden endast relevant material gallrades resultatet från litteratursökningen i omgångar utifrån satta kriterier. I flödesschemat (Figur 3) illustreras processen konceptuellt.



Figur 3. Flödesschema för gallringsprocessen.

3.2.1 Första gallringen – baserat på titel

Första gallringen skedde baserat på titel enligt devisen hellre fria än fälla. Vilket betydde att uppenbart irrelevant material direkt sorterades bort. Alltså material som inte berörde ämnena LCA eller byggbranschen. Studier inom anläggning och som inte var relevanta för den svenska marknaden sorterades också bort, det kunde till exempel vara en fallstudie om broar eller en studie från ett svenskt universitet med ett objekt i Asien. Titlar som inte gav tillräckligt mycket information för att kunna göra en bedömning behölls till nästa steg i gallringen där en mer noggrann bedömning gjordes. Som det går att se i Figur 3 var antalet titlar innan gallring stort. Eftersom sökningens mål var relativt brett bedömdes det att en manuell gallring på titel skulle ge mer relevant material än att försöka avgränsa sökningen ytterligare. Efter gallringen baserad på titel sorterades dubletter bort med hjälp av referenshanteringsprogrammet Zoterots funktion för källdubletter.

3.2.2 Andra gallringen – baserat på abstract

Andra gallringen skedde i första hand baserat på abstract. Gick det inte att avgöra utifrån abstract om titeln var relevant studerades även andra delar av rapporten översiktligt. Målet med gallringen var att endast ha kvar studier som uppfyllde alla inklusionskriterier och att utifrån det materialet sedan göra ett urval av de titlar som inkluderades i analysen.

3.3 SLUTGILTIGT URVAL OCH SAMMANSTÄLLNING

Projektet skulle efter analys av valda studier enligt vald fråga resultera i rekommendationer relevanta för nyproduktion av byggnader. Två exklusionskriterier adderades i detta skede, studier som inte berörde nyproduktion och studier som enbart fokuserade på energianalys utan koppling till en kvantifierbar klimatpåverkan. Därför sorterades de studier som berörde enbart renovering, ombyggnation, installationer, rivning eller driftskede bort. Även studier som vid närmare granskning inte innehöll en genomförd LCA sorterades bort. Slutligen sorterades även studier med enbart fokus på energi bort. Utifrån de 65 titlar som gallringen resulterade i gjordes ett urval i samråd med Elisabet Stadler⁸ och Maria Franzén⁹. Dessa 30 studier sammanställdes enligt inventeringslistan som följer:

- a. *Titel*
- b. *Datum*
- c. *Författare*
- d. *Utgivare*
- e. *Uppdragsgivare/Samarbetspartners*
- f. *Typ av publikation (rapport, vetenskaplig artikel, examensarbete eller konferensbidrag)*
- g. *Syfte*
- h. *Typ av objekt (ex. småhus, flerbostadshus, kontor eller industri)*
- i. *Funktionell enhet samt analysperiod*
- j. *Systemgränser*
- k. *Miljöpåverkanskategorier*
- l. *Specifikt ämnesområde (ex. trä vs betong)*
- m. *Om studien var av jämförande (vilket är bästa valet) eller bokförande (hur stor är miljöpåverkan) karaktär*
- n. *Metod/programvara*
- o. *Typ av data och datakälla (generisk eller projektspecifik)*
- p. *Transparens på data och beräkningar*

Lista på studierna finns i avsnitt 4 och fullständig sammanställning återfinns i bilaga B.

⁸ Elisabet Stadler, Miljöchef Peabkoncernen, Peab AB, handledare

⁹ Maria Franzén, Miljöspecialist affärsområde Bygg, Peab Sverige AB, handledare

3.4 ANALYSMETOD

För att besvara frågeställningarna skedde analysen i fyra delar enligt följande:

Sammanställning av data (utförlig beskrivning i nästkommande stycke)

- Materialet från litteratursöket studerades och genomgick ett urval då 13 av studiernas data inte lämpade sig för jämförelse med de övriga 17. De 17 studierna delades in i två grupper, de som angett resultat enligt EN 15978:2011 (Grupp 1) och de som inte gjort det (Grupp 2).
- En matris utformades för respektive grupp där resultat från varje studie sammanställdes modulvis. Både andel av den identifierade klimatpåverkan och absoluta tal inkluderades i den mån det var möjligt. Materialet presenteras i avsnitt 5.1 och 5.2. Matriserna i sin helhet återfinns i bilaga C och D.

Modulernas klimatpåverkan

- Modulernas klimatpåverkan jämfördes med varandra för Grupp 1 och 2 var för sig.

Total klimatpåverkan samtliga studier

- Total klimatpåverkan per studie jämfördes med antal inkluderade moduler för respektive studie.

Klimatpåverkan inom modulerna

- Vad inom modulerna som har störst betydelse för utfallet i varje studie sammanställdes och jämfördes. Grupp 1 och 2 analyserades här tillsammans.

Sammanställning av data beskrivs här utförligt. Utifrån de 30 sammanställda studierna valdes 17 studier som utgjorde material för analysen. Övriga 13 studiers resultat var presenterade på sätt som gjorde data olämplig att jämföra med resterande 17 studier. Dessa 17 studier delades in i två huvudgrupper och hanterades delvis separat. För att jämförelsen av klimatpåverkan från de olika delarna av livscykeln skulle bli trovärdig valdes tio studier, som redovisade sitt resultat uppdelat på modulerna enligt SS-EN 15978:2011, till Grupp 1. Resterande sju studier utgjorde den andra huvudgruppen (Grupp 2) där klimatpåverkan redovisades uppdelad över livscykeln men det krävdes tolkning och antaganden för att avgöra vilken modul det berörde. Denna grupp bedömdes alltså inte ge en lika trovärdig analys, men sågs som ett bra komplement och värdefullt för analysen. De två grupperna finns beskrivna i avsnitt 5.1 och 5.2. Både absoluta tal och andel av total klimatpåverkan eftersöktes i materialet. Hur detta presenterades varierade i studierna i båda grupperna. Flertalet redovisade inte resultatet i exakta tal utan endast med diagram. I dessa fall skedde en uppskattning. Majoriteten av studierna redovisade resultat för olika scenarier baserade på till exempel energislag eller byggmaterial. Alla redovisade scenariers resultat sammanställdes i två matriser som återfinns i bilaga C och D. Klimatpåverkan för en viss modul var i vissa studier angiven i procent av byggnadens totala klimatpåverkan. För resterande studier har andelen av total klimatpåverkan varje modul står för beräknats utifrån data som fanns presenterad i absoluta tal. Klimatpåverkan i absoluta tal redovisades i kg CO₂-ekv/FE. Funktionella enheter som förekom var m² A_{temp}, m² utthyrt yta, m² boendeyta, våning och byggnad. Data har omvandlats till kg CO₂-ekv/m² för samtliga studier. De olika ytmåtten har inte omvandlats till ett gemensamt eftersom data för det inte var tillgänglig, m² används alltså i denna rapport som ett

samlingsnamn för tidigare nämnda ytenheter, där våning och byggnad omvandlats enligt angiven area.

4 RESULTAT LITTERATURÖVERSIKT

De 30 studier som litteraturöversikten resulterade i listas i Tabell 8. Fullständig sammanställning utifrån inventeringslistan i avsnitt 3.3 finns i bilaga B. Även gruppindelning enligt föregående avsnitt framgår i tabellen. Grupperna beskrivs utförligare i avsnitt 5.1 och 5.2.

Tabell 8. Lista på studier som utgör resultatet av litteraturöversikten

Titel	Publikation	Författare	Gr.
A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels	Vetenskaplig artikel	Karami et al. (2015)	1
Abatement cost of embodied emissions of a residential building in Sweden	Vetenskaplig artikel	Andersson et al. (2018)	-
Användning av glas i kontorsbyggnader: Fokus på energi- och koldioxidutsläpp	Examensarbete grundnivå	Moucho & Farhat (2017)	1
Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change – Case study on an office building in Sweden	Vetenskaplig artikel	Wallhagen et al. (2011)	2
Byggandets klimatpåverkan – Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong	Rapport	Liljenström et al. (2015)	1
Byggandets klimatpåverkan – Livscykelberäkningar av klimatpåverkan för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus med massiv stomme av trä	Rapport	Larsson et al. (2016)	1
Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften – Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil	Rapport	Liljenström et al. (2014)	1
Carbon balances for a low energy apartment building with different structural frame materials	Vetenskaplig artikel	Tetty et al. (2019)	-
Decreasing the carbon footprint of energy efficient buildings, what comes next?	Konferensbidrag	Peñalosa et al. (2013)	1
En jämförelsestudie av koldioxidutsläpp för en byggnad med trä- respektive betongstomme ur ett livscykelperspektiv	Examensarbete grundnivå	Rautio & Johansson (2010)	-
Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study	Vetenskaplig artikel	Sinha et al. (2016)	-
Glued laminated timber and steel beams: A comparative study of structural design, economic and environmental consequences	Vetenskaplig artikel	Hassan & Johansson (2018)	-
Integrering av LCA och LCC i en multikriterieanalys: Optimering av byggnadsdelar	Examensarbete grundnivå	Lunnegård & Nilsson (2018)	-
Jämförande livscykelanalys av motsvarande tegel- och träkonstruktioner	Examensarbete grundnivå	Viborg & Lidström (2014)	2
Jämförelse mellan två fasadbeklädnader: En hållbarhetsanalys med fokus på livscykelanalys, kostnadsanalys samt sociala aspekter	Examensarbete avancerad nivå	Ceu (2016)	-
Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden	Konferensbidrag	Petrovic et al. (2019)	1
Life cycle assessment of the semidetached passive house "Röda lyktan" in northern Sweden : A comparison between the construction phase and the use phase	Examensarbete grundnivå	Svensson (2013)	2
Life cycle primary energy analysis of residential buildings	Vetenskaplig artikel	Gustavsson & Joelsson (2010)	-

Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building	Vetenskaplig artikel	Gustavsson et al. (2010)	2
Life cycle primary energy use and carbon footprint of wood-frame conventional and passive houses with biomass-based energy supply	Vetenskaplig artikel	Dodoo & Gustavsson (2013)	2
Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems	Vetenskaplig artikel	Dodoo et al. (2014)	2
Livscykelanalys och livscykelkostnadsanalys av nyckelfärdiga flerbostadshus: En jämförelse mellan betong- och träkonstruktion	Examensarbete avancerad nivå	Lydell & Larsson (2018)	2
Livscykelanalys på stommaterial – En jämförande livscykelanalys med fokus på koldioxidutsläpp och energianvändning	Examensarbete grundnivå	Lundgren & Westbom (2018)	-
Livscykelstudie av kontor med kombinerad betong- och träkonstruktion	Rapport	Ylmén et al. (2018)	1
Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus – LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport.	Rapport	Malmqvist et al. (2018)	1
Sustainability of Reinforcement Alternatives for Concrete	Konferensbidrag	Williams Portal et al. (2014)	-
The Environmental Potential of Hybrid Load Bearing Systems A Life Cycle Assessment of a Skanska Residential Reference House	Examensarbete avancerad nivå	Brandt & Sonesson (2017)	1
The importance of including secondary effects when defining the system boundary with life cycle perspective: Case study for design of an external wall	Vetenskaplig artikel	Ylmén et al. (2017a)	-
The influence of secondary effects on global warming and cost optimization of insulation in the building envelope	Vetenskaplig artikel	Ylmén et al. (2017b)	-
Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change	Vetenskaplig artikel	Sathre & Gustavsson (2009)	-

5 ANALYS

5.1 SAMMANSTÄLLNING AV DATA – GRUPP 1

I analysen inkluderades tio studier i Grupp 1 (Tabell 9): fem rapporter, två konferensbidrag, en vetenskaplig artikel och två examensarbeten, ett på grundnivå och ett på avancerad nivå. Materialet var publicerat mellan 2013 och 2019, en studie vardera åren 2013, -14, -16 och -19 och två vardera åren 2015, -17 och -18. De var publicerade av Energy and Buildings, Jönköping University, IVL Svenska miljöinstitutet, Kungliga tekniska högskolan, RISE, Chalmers tekniska högskola, Sveriges byggindustrier och The 10th International Conference on Applied Energy, där IVL Svenska miljöinstitutet och Sveriges byggindustrier stod för majoriteten av rapporterna. All data tillhörande Grupp 1 finns i bilaga C.

Tabell 9. Sammanfattning av de tio analyserade studierna

Studie	Publikation	Studerade moduler	Syfte
Karami et al. (2015)	Vetenskaplig artikel	A1–3 ¹⁰ , B6	Jämföra flerfamiljshus av standardtyp med välisolerade hus, både med konventionell isolering och VIP (vacuum insulation technology)
Moucho & Farhat (2017)	Examensarbete grundnivå	A1–3, A4, B6, C1–4, D	Studera hur stor klimatpåverkan andelen glas i fasaden på en kontorsbyggnad har. Tre geografiska platser tas i beaktning.
Liljenström et al. (2015)	Rapport	A1–5, B2,4,5, B6, C1–4	Studera klimatpåverkan från ett nybyggt flerfamiljshus med lågenergiprofil. Olika energi- och livslängsscenarioer studeras.
Larsson et al. (2016)	Rapport	A1–5, B1, B2,4, B6, C1–4	Studera klimatpåverkan från ett flerfamiljshus med stomme av trä. Jämföra produktionsskede med drift och identifiera ev. hotspots.
Liljenström et al. (2014)	Rapport	A1–5, B6	Beräkna miljöpåverkan från produktions- och driftsfasen för ett flerfamiljshus med betongstomme med lågenergi-profil. Jämförelse mellan uppströms och nedströms miljöpåverkan.
Peñaloza et al. (2013)	Konferensbidrag	A1–3, A4, B2, B6, C1–4, D	Utforska olika delar av livscykelns bidrag till lågenergibyggnaders koldioxidavtryck samt studera hur bio-material kan vara ett alternativ för att minska koldioxidutsläpp inom byggsektorn.
Petrovic et al. (2019)	Konferensbidrag	A1–3, A4, B1–5, C1–4	Utvärdera miljöpåverkan från olika byggmaterial samt beräkna vilka som har mest betydande miljöpåverkan inom olika miljöpåverkanskategorier.
Ylmén et al. (2018)	Rapport	A1–3, A4, B2,4,6, C1–4	Olika projekterings- och produktionsalternativ jämförs, även materialval och byggplatssystem undersöks, för att studera långsiktig miljöpåverkan.
Malmqvist et al. (2018)	Rapport	A1–3, A4, A5, B1, B2,4, B6, C1–4	Studera klimatpåverkan för fem olika konstruktionslösningar samt undersöka om det går att göra klimatförbättrande åtgärder med befintlig teknik.
Brandt & Sonesson (2017)	Examensarbete avancerad nivå	A1–5, B2,4, B6, C1–4	Identifiera möjliga hybridstommar av trä och betong och kartlägga deras miljömässiga potential gällande klimatförändringar.

Samtliga studiers objekt var ett helt hus, däremot var studierna utförda med olika syften. Fyra av studierna behandlade materialen trä och betong, en jämförde de båda materialen, en studerade hybridstommar av trä och betong och resterande två var analyser av ett betonghus respektive trähus. Två av studierna jämförde klimatpåverkan från olika delar

¹⁰ Modulnummer grupperade efter modulbokstaven med bindestreck (A1–3) eller komma (B2,4,5) betecknar att resultatet presenteras för modul A1, A2 och A3 respektive B2, B4 och B5 aggregerat. Skrivs A4, B6 betyder det att separata resultat finns redovisade för A4 och B6.

av livscykeln, den ena för ett betonghus och den andra har även undersökt möjligheterna att använda biomaterial som ett sätt att minska byggnadens koldioxidavtryck. Förutom att studiernas syfte skiljde sig åt beräknades klimatpåverkan för flera scenarier inom några av studierna, där analysperiod och energislag till driften varierades.

Studierna angav allihop sitt resultat enligt standarden SS-EN 15978:2011 och delade upp det enligt modulerna A–D. Det varierade däremot vilka moduler som inkluderats och hur de grupperats vid presentation av resultat. De enda modulerna som alla studier redovisat var A1–3 (produktion) som också angavs aggregerat av alla studier, ofta även tillsammans med A4–5 (konstruktion). Majoriteten har inkluderat B6 (drift) och C1–4 (slutfas) och presenterade resultat enligt detta. Några få studier har studerat klimatpåverkan från användningen (B1) och klimatpåverkan från processer utanför systemgränserna (D). Modulerna B3 (reparation) och B5 (reovering) var sällan inkluderade och B7 (vattenförbrukning) var inte studerad alls i dessa studier. Några av studierna tog upp modulerna B2 (underhåll) och B4 (materialutbyte) och då ofta tillsammans.

5.2 SAMMANSTÄLLNING AV DATA – GRUPP 2

Utöver de tio studier som beskrivs i avsnitt 5.1 inkluderades sju studier i Grupp 2 (Tabell 10). Dessa studier bedömdes ge analysen större osäkerhet som beskrivits i avsnitt 3.4 och behandlades därför delvis separat. Materialet bestod av fyra vetenskapliga artiklar och tre examensarbeten, varav ett på avancerad nivå. Studierna var publicerade en studie vardera åren 2010, -11 och -18, samt två studier vardera 2013 och -14. Examensarbetena var utförda vid och publicerade av Linköpings universitet, Mittuniversitetet samt Kungliga tekniska högskolan och de vetenskapliga artiklarna var publicerade i Energy and Buildings, Applied Energy samt Building and Environment. All data tillhörande Grupp 2 finns i bilaga D.

Tabell 10. Sammanfattning av de 7 analyserade studierna i Grupp 2

Studie	Publikation	Studerade moduler	Syfte
Wallhagen et al. (2011)	Vetenskaplig artikel	A1–3, B6	Studera hur val tidigt i designfasen för en byggnad kan påverka byggprocessens och byggnadens energibehov och klimatpåverkan. LCA görs på förändringar på en befintlig byggnad och resultatet ska användas för beslut tidigt i byggprocessen.
Viborg & Lidström (2014)	Examensarbete grundnivå	A1–3, B2, B6	Två typhus jämförs, ett med tegelstomme och ett med trästomme och dess miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv utvärderas.
Svensson (2013)	Examensarbete grundnivå	A1–3,5, B6	Jämför konstruktionsfasen med driftsfasen. Undersöka vilka material som har stor klimatpåverkan.
Gustavsson et al. (2010)	Vetenskaplig artikel	A1–3, A5, B6, C1, D	Analysera primäre energi och kolflöde för en lägenhetsbyggnad med trästomme.
Dodoo & Gustavsson (2013)	Vetenskaplig artikel	A1–5, B6, C1, D	Jämföra primärenergiförbrukning och koldioxidavtryck för ett konventionellt hus och ett passivhus. Båda har trästomme. Olika sätt att värma upp husen jämförs.
Dodoo et al. (2014)	Vetenskaplig artikel	A1–3, A4–5, B6, C1, D	Undersöka koldioxidavtryck från lågenergihus och konventionella hus med tre olika trä-byggsystem.
Lydell & Larsson (2018)	Examensarbete avancerad nivå	A1–3, A4–5, B6	Jämföra miljöpåverkan, från framförallt byggmaterial och konstruktionsdelar, för ett flerbostadshus i trä respektive betong.

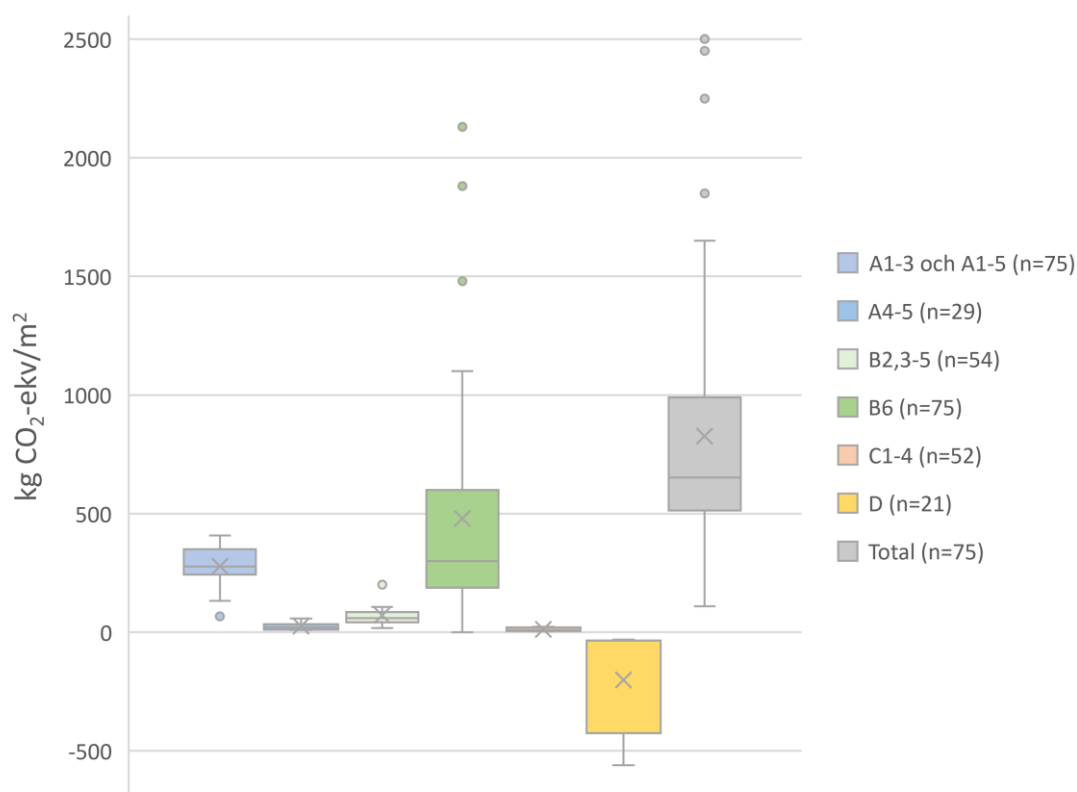
Samtliga studier var utförda på hela byggnader, däremot låg fokus ofta på byggmaterialen. Fyra av studierna studerade olika material- och designval, i två av dem fanns en tydlig jämförelse mellan trä och betong respektive trä och tegel. Två av studierna jämförde alternativ som kan ha en större inverkan även på driften och jämförde en konventionellt byggd byggnad med ett passivhus respektive ett annat lågenergihus. I studien som berör passivhuset har även olika uppvärmningsmetoder av byggnaden undersökts.

Vilka moduler som berördes var för dessa studier svårare att avgöra eftersom det inte var uttryckligen angivet. En tolkning har gjorts gentemot standarden för LCA för byggnadsverk SS-EN 15978:2011 och det är dessa moduler som är angivna i Tabell 10. Denna tolkning utgjorde en osäkerhet vid jämförande av modulerna, däremot bedömdes materialet intressant för studien i sin helhet och inkluderades därför på detta sätt. I Tabell 10 går det att se att samtliga sju studier har behandlat motsvarande modul A1–3 (produktion), i ett fall i klump med A4–5 (transport och konstruktion) och i ett fall tillsammans med endast A5. I två av studierna var klimatpåverkan från motsvarande modul A4–5 redovisat separat utöver modul A1–3. Samtliga studier har inkluderat klimatpåverkan från driften (B6) och en studie studerade även B2 (underhåll). Tre av studierna berörde modulen C1 (rivning) och dessa tre har även inkluderat D-modulen, vilket i dessa fall var processer eller delar av processer (produktion och rivning) som

minskade mängden växthusgaser i atmosfären samt energiåtervinning. Att så få inkluderat C-modulen var en skillnad mot studierna i avsnitt 5.1 där majoriteten berörde samtliga C-moduler. Detta, och att energiåtervinning endast behandlas i modul D även om det uppkom i flera skeden i livscykeln, kan vara en anledning till att författarna valt att inte dela upp klimatpåverkan enligt SS-EN 15978:2011 eftersom det inte passade syftet för studien.

5.3 MODULERNAS KLIMATPÅVERKAN GRUPP 1

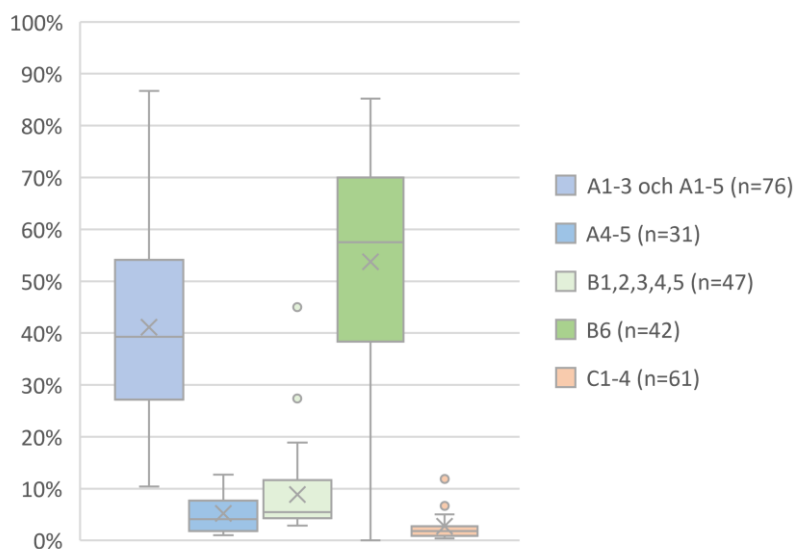
En översikt av all data till analysen (bilaga C), illustrerad i Figur 4, gav tydligt två delar av livscykeln som hade en stor klimatpåverkan i förhållande till resterande delar: produktion/konstruktion (A1–3 och A1–5) och drift (B6). Även modul D, alltså fördelar och belastningar utanför systemgränserna, hade stor klimatpåverkan i förhållande till övriga moduler. Notera dock att lådogrammet för modul D är baserat på betydligt färre punkter än övriga moduler eftersom få studier inkluderade modul D i sina beräkningar. Effekter från modul D är inte heller inkluderat i den totala klimatpåverkan. Det fanns en stor variation mellan studierna för den beräknade totala klimatpåverkan, från 110 till 2500 kg CO₂-ekv/m².



Figur 4. Resultat från studierna i Grupp 1. Klimatpåverkan för respektive modul/modulgrupp i kg CO₂-ekv/m². Modul D är inte inkluderat i den totala klimatpåverkan. Antal datapunkter (n) anges för respektive lådogram. Lådornas övre och undre kant markerar den övre respektive undre kvartilen. De vertikala linjernas (morrhårens) slutpunkt markerar max- och min-värden. Värderna på större avstånd från lådan än en och en halv gånger kvartilavståndet (lådans längd) är extremvärden (outliers) och markeras med en punkt. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärde med ett kryss.

Modulerna A4 och A5 som utgjorde konstruktionsfasen redovisades enskilt i lite mer än hälften av studierna, både var för sig och tillsammans. Andelen klimatpåverkan från konstruktionsfasen varierade mellan 1 % och 12 % av byggnadens totala klimatpåverkan, dock var majoriteten av resultaten under 5 % och medelvärdet låg på 26 kg CO₂-ekv/m². Produktionen (A1–3) redovisades i fyra av tio studier tillsammans med konstruktionen (A4–5) vilken hade en mindre klimatpåverkan enligt de studier där den redovisades separat. Det fanns heller inget tydligt samband mellan större andel av total klimatpåverkan för de som inkluderat konstruktionen och vice versa. Därför sågs resultaten för A1–3 vara jämförbara med resultaten för A1–5 och de analyserades i grupp.

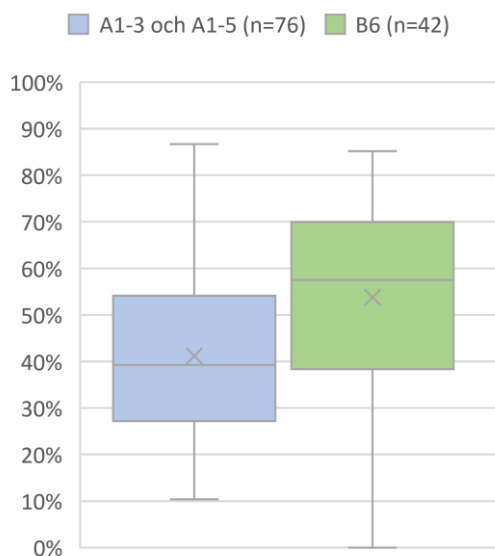
Sju av tio studier redovisade klimatpåverkan från andra moduler i driftsfasen utöver B6 (energiförbrukning) och det var då från B2 och B4 samt B5 i två fall (B1 beskrivs separat senare i detta stycke). Faserna B2, B4 och B5 kan sammanfattas som underhåll. En studie med endast ett scenario redovisade klimatpåverkan från B1–5 aggregerat och beräknade det då till 45 %, som går att identifiera som ett extremvärde i Figur 5. Ytterligare en studie stack ut, där redovisades klimatpåverkan aggregerat för B2, B4 och B6, denna klimatpåverkan inkluderades i data för B6, trots bidrag från B2 och B4. Andelen klimatpåverkan från B2, B4 och B5 varierade mellan 3 % och 28 % och i absoluta tal mellan 17 och 200 kg CO₂-ekv/m², då klimatpåverkan från B1–5 aggregerat exkluderades (som tidigare nämnt är 45 %). Av de resultat som översteg 15 % var majoriteten av scenarierna beräknade med en livslängd på 100 år och en låg eller medel andel fossil el. I detta fall innebar låg andel fossil el att byggnaden var uppvärmd med fjärrvärme från Gävle och att el till driften var el med hög andel förnyelsebara bränslen, och medel andel innebär svensk medelfjärrvärme och att klimatpåverkan från elen var beräknad från nordisk elmix. Det betyder alltså att B6 hade betydligt större relativ klimatpåverkan i de fallen och B2,4,5 var av mindre betydelse, dock inte betydelselös.



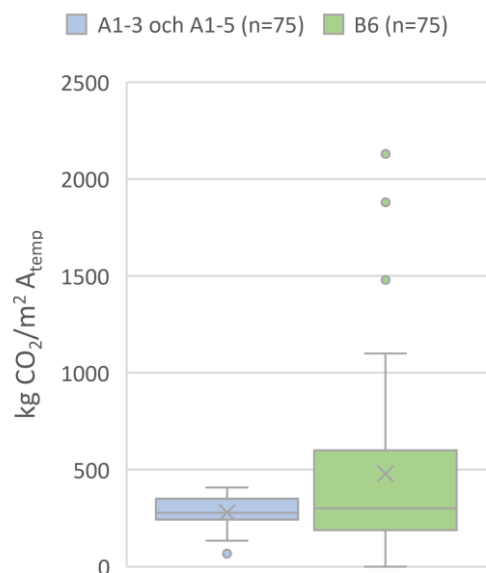
Figur 5. Resultat från studierna i Grupp 1. Andelen per modul av byggnadens totala klimatpåverkan. Antal datapunkter (n) anges för respektive lådogram. Lådornas övre och undre kant markerar den övre respektive under kvartilen. De vertikala linjernas (morrhårens) slutpunkt markerar max- och min-värden. Värden på större avstånd från lådan än en och en halv gånger kvartilavståndet (lådans längd) är extremvärden (outliers) och markeras med en punkt. Median markeras med ett våggrått streck och medelvärde med ett kryss.

För modulerna C1–4 redovisades resultat mellan 4 och 23 kg CO₂-ekv/m² vilket motsvarar <1 % och 13 % av respektive byggnads totala klimatpåverkan. Majoriteten av resultaten låg under 4 % och av de som låg över kom de flesta från samma studie, som även hade betydligt större absolut klimatpåverkan för slutfasen. Några få studier hade även inkluderat B1 och D som i de här fallen berörde klimatpåverkan som minskar mängden växthusgaser i atmosfären. De har inte räknats in i den totala klimatpåverkan och det finns därmed ingen andelsberäkning för de modulerna i Figur 5. B1 innefattade i de här fallen karbonatisering och D utgjordes av upptag och lagring av kol i biomassa, energiåtervinning av avfall och restprodukter samt undvikta utsläpp från fossila källor. Det är tydligt i Figur 4 att den totala klimatpåverkan skulle minska om modul D inkluderades i beräkningen av den totala klimatpåverkan. För dessa studier varierade effekterna från modul D mellan -31 och -560 kg CO₂-ekv/m².

Andelen av den totala klimatpåverkan från A1–3, A1–5 och B6 varierade stort mellan studierna och scenarierna inom studierna, beroende på hur studierna utförts och hur resultaten presenterades. Studeras Figur 6 ses tydligt den stora spridningen av redovisade resultat. Samtliga resultat från modulerna A1–3 och A1–5 varierade mellan 10 % och ca 85 % och resultat från modulen B6 varierade mellan 0 % och ca 85 %. Dock låg hälften av resultaten för A1–3/A1–5 och B6 inom intervallen ~25–55 % respektive ~40–70%, alltså något högre för B6. Eftersom produktion/konstruktion och drift var de moduler med störst klimatpåverkan är det naturligt att respektive lådogram har liknande form. Var andelen klimatpåverkan från produktion hög blev andelen från driften låg och omvänt. Om istället Figur 7 studeras ser fördelningen något annorlunda ut.



Figur 6. Fördelningen av resultat för modulerna A1–3/A1–5 och B6 i procent av byggnadens totala växthusgasutsläpp. Antal datapunkter (n) anges för respektive lådogram. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärde med ett kryss.

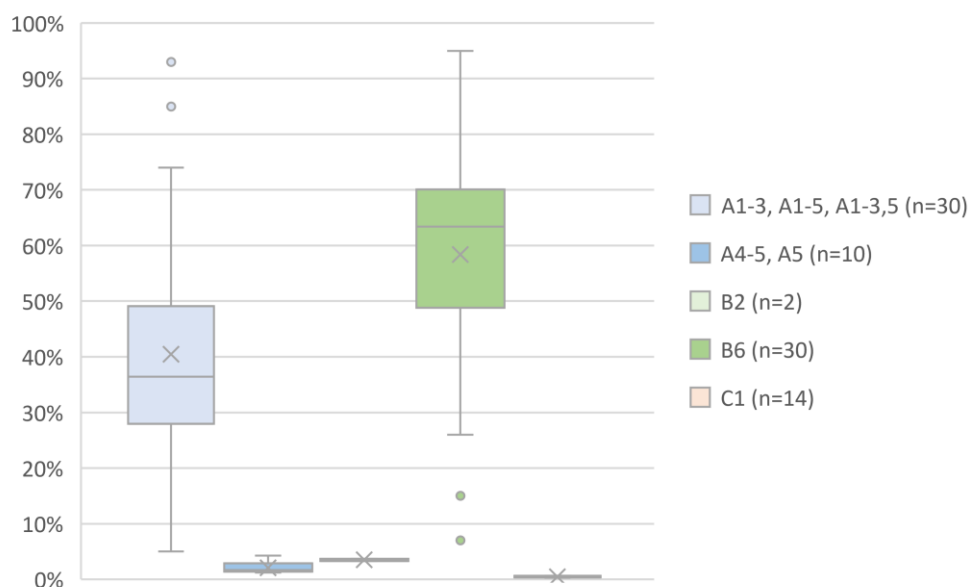


Figur 7. Fördelning av resultat för modulerna A1–3/A1–5 och B6 i kg CO₂-ekv/m². Antal datapunkter (n) anges för respektive lådogram. Värden på större avstånd från lådan än en och en halv gånger kvartilavståndet (lådans längd) är extremvärden (outliers) och markeras med en punkt. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärdet med ett kryss.

I Figur 7 visas fördelningen av resultat i absoluta tal i enheten kg CO₂-ekv/m². Här är resultaten för A-modulerna betydligt mer samlade än för B6, studierna har alltså fått relativt lika resultat. Att resultaten för B6 hade en betydligt större spridning beror troligtvis på att de variationer som gjorts i driftskedet, som olika energislag och livslängd på husen, hade stor betydelse på klimatpåverkan. Av de scenarierna med ett resultat på över 1000 kg CO₂-ekv/m² från driftskedet var sju av åtta beräknade med en livslängd på 100 år och med en hög eller medel andel fossil el. I detta fall innebär hög andel att byggnaden var uppvärmd med storstadsfjärrvärmenät och att el till driften var el med låg andel förnyelsebara bränslen, och medel andel innebär svensk medelfjärrvärme och klimatpåverkan från elen var beräknad från nordisk elmix. Detta tyder på att vilket energislag som används och hur länge byggnaden beräknas vara i drift har stor betydelse för byggnadens klimatpåverkan. Det fanns även en stor andel scenarier i denna studie där klimatpåverkan från driften var likvärdig med den från produktion/konstruktion.

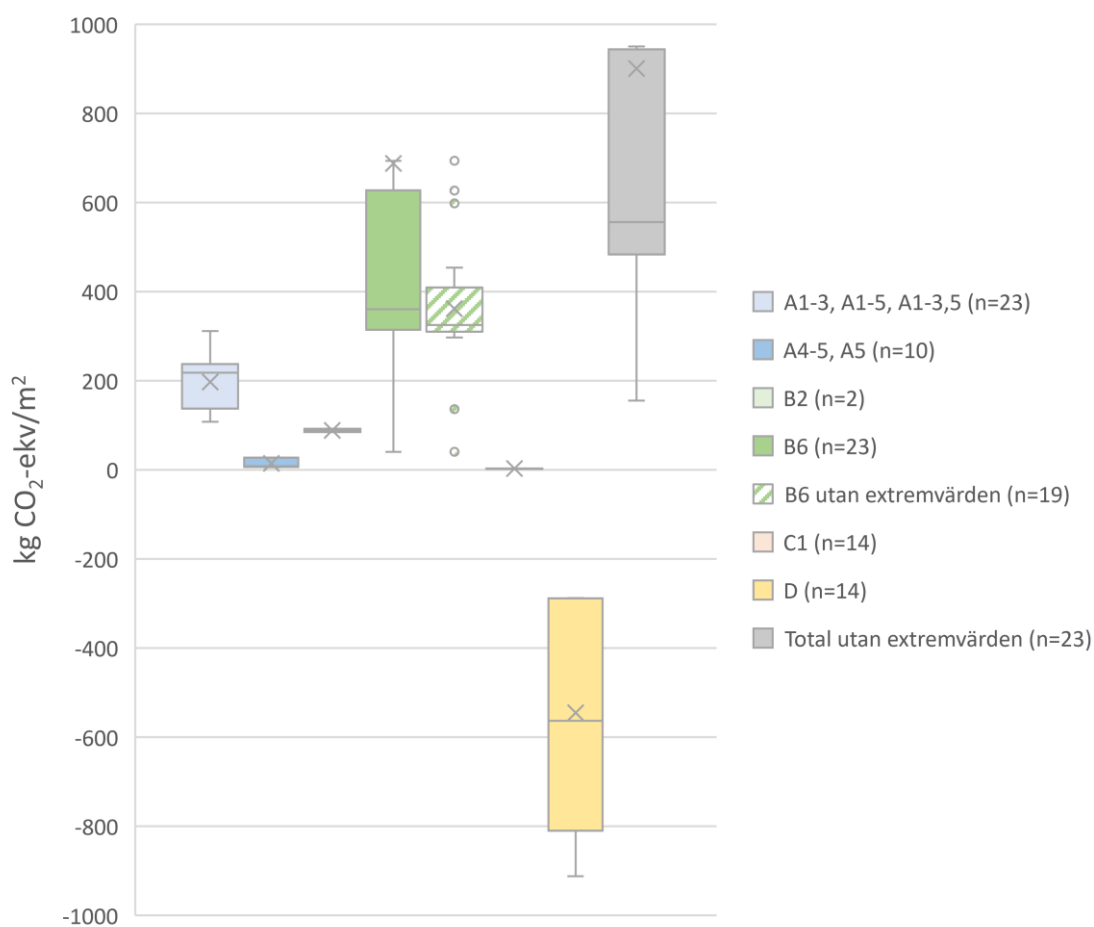
5.4 MODULERNAS KLIMATPÅVERKAN GRUPP 2

Detta avsnitt behandlar de sju studier (Grupp 2) som beskrivits i avsnitt 5.2 och bör ses som ett komplement till analysen i avsnitt 5.3. Även här var det uppenbart att tre modulgrupper dominerade: A1–3, A1–5 och A1–3,5 (fortsatt kallat produktionen eller A1–3 i detta avsnitt) och B6 (Figur 8). För resterande moduler var samtliga datapunkter under 5 %. Andelen klimatpåverkan från produktionen varierade mellan 5 % och 93 % även om majoriteten av resultaten låg inom intervallet 25–50 %. För modulen B6 varierade resultatet mellan 7 % och 95 %, med hälften av värdena inom intervallet ca 50–70 %.



Figur 8. Fördelning av resultat för modulerna. Den begränsade spridningen för A4–5, A5, B2 och C1 kan ha olika orsaker eftersom lådogrammen baseras på olika antal datapunkter. Antal datapunkter (n) anges för respektive lådogram. Lådornas övre och undre kant markerar den övre respektive under kvartilen. De vertikala linjernas (morrhårens) slutpunkt markerar max- och min-värden. Värden på större avstånd från lådan än en och en halv gånger kvartilavståndet (lådans längd) är extremvärden (outliers) och markeras med en punkt. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärde med ett kryss.

Överlag var fördelningen lik den i Figur 5 för produktion och drift och andelen klimatpåverkan från resterande moduler något lägre. Detta tyder på att även om modulerna i standarden SS-EN 15978:2011 inte användes erhålls ett liknande resultat, dock bör det noteras att de studier som angav modultillhörighet på presenterade resultat (Grupp 1) oftare inkluderade modulerna med mindre klimatpåverkan, och att de då antagligen fick ett mer rättvisande resultat, även om skillnaden inte var alltför stor. Det som däremot var vanligare bland studierna som inte redovisar sitt resultat enligt SS-EN 15978:2011 var att inkludera effekter som enligt SS-EN 15978:2011 ligger utanför systemgränsen, vilket enligt standarden hör till modul D. Detta resultat synliggörs i Figur 9 och det är tydligt att det har en betydande klimatpåverkan.



Figur 9. Fördelning av resultat för modulerna i kg CO₂-ekv/m². Fyra extremvärden för B6 över 2000 och fyra extremvärden för total klimatpåverkan (2153, 2500, 2549 och 2689 kg CO₂-ekv/m²) visas inte, för att få en bättre överblick över resterande moduler. Den begränsade spridningen för A4–5, A5, B2 och C1 kan ha olika orsaker eftersom lådogrammen baseras på olika antal datapunkter. Antal datapunkter (n) anges för varje lådogram. Lådornas övre och undre kant markerar den övre respektive under kvartilen. De vertikala linjernas (morrhårens) slutpunkt markerar max- och min-värden. Värden på större avstånd från lådan än en och en halv gånger kvartilavståndet (lådans längd) är extremvärden (outliers) och markeras med en punkt. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärdet med ett kryss.

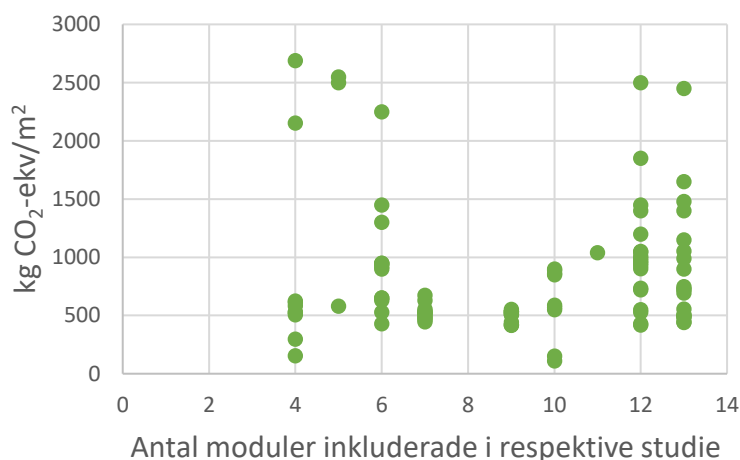
Att processer med klimatpåverkan som motverkar växthuseffekten inkluderades oftare i den här gruppen av studier kan bero på att standardens tillvägagångsätt (SIS, 2011) inte lämpade sig för den typen av klimatpåverkan och att flera metoder fanns för hur biogena

koldioxidutsläpp skulle beräknas (Larsson et al., 2016). Att lägga all typ av klimatpåverkan utanför systemgränserna i modul D, som enligt SS-EN 15978:2011, istället för att inkludera det i respektive modul där klimatpåverkan uppkommit kan ses som hämmande eller otydligt eftersom det då inte är uppenbart vad som bidrar till denna klimatpåverkan. Att lådogrammet för driften i Figur 9 ger en bild av en betydligt större klimatpåverkan än övriga moduler beror till stor del på de fyra extremvärdena som plockats bort i grafen men som fortfarande är inkluderade i datasetet. Beräknas lådogrammet utan extremvärdena blir grafen annorlunda, vilket också kan ses i Figur 9.

Båda grupperna av data, de som presenterar resultat per modul och de som inte gör det, hade en stor spridning som kan bero på flera olika orsaker: studiens utförande, tillvägagångssätt, syfte, valda delar av livscykeln, typ av data, beräkningsmetod och liknande.

5.5 TOTAL KLIMATPÅVERKAN SAMTLIGA STUDIER

För att ytterligare stödja att produktion och drift är de modulerna som står för störst klimatpåverkan kan Figur 10 studeras. Här jämfördes antal inkluderade moduler mot total klimatpåverkan per ytenhet för samtliga 17 studier och inget tydligt samband fanns. Samtliga studier har inkluderat A1–3 och B6, för övriga moduler varierade det vilka som berördes och dessa hade en betydligt mindre klimatpåverkan. Det var alltså variationer inom modulerna A1–3 och B6 som utgjorde de stora skillnaderna. Avsnitt 5.6 i analysen behandlar därför produktion/konstruktion och drift mer ingående.



Figur 10. Total klimatpåverkan per ytenhet i förhållande till antal inkluderade moduler i respektive studie. Varje punkt motsvarar en studie/scenario i studie.

Det som inte framgår i Figur 10 är vad som inkluderats inom varje modul, vilket också skiljer studierna emellan. Det kan vara en bidragande faktor till att inget samband finns mellan antal inkluderade moduler och total klimatpåverkan, att det viktiga är vad som inkluderas inom modulerna. Här saknas en transparens i studierna som skulle underlätta denna typ av jämförelser.

5.6 KLIMATPÅVERKAN INOM MODULERNA

5.6.1 Betydande klimatpåverkan från produktion och konstruktion (A1–5)

Eftersom studierna var gjorda med olika syften fanns det inte angett vilken som var den största utsläppskällan inom alla moduler, fokus låg istället på faktorer som var relevanta för syftet. Därför gick ingen homogen sammanställning att göra. I Tabell 11 beskrivs de viktigaste orsakerna till klimatpåverkan inom modul A1–5 för de 10 studierna som angett resultat enligt SS-EN 15978:2011 (Grupp 1).

Tabell 11. Sammanställning av resultat från Grupp 1. Aspekter med mest betydande bidrag till klimatpåverkan från A1–3, A1–5, A4 och A5 uppdelade i kategorier sorterade med aspekten med störts bidrag först för varje kategori. Mest betydande aspekt för varje kategori är fetmarkerad

Studie	Aspekt med betydande klimatpåverkan
Karami et al. (2015)	A1–5 Takplattor i betong , förstärkning, förstärkt betong, VIP (vacuum insulated panels)
Moucho & Farhat (2017)	Ej angett, diskuterar endast andelen glas i fasaden.
Liljenström et al. (2015)	A1–5 Byggdelar: BY03 Betong , betongvaror, bruk och armering (50 %) och BY02 Trävaror, byggskivor, byggplåt (20 %). Resurser: Byggbetong Skanska C32/40 (45 %) och VST-skiva ¹¹ (19 %). A5 El (37 %), transporter och produktion spillmaterial (35 %), diesel (25 %).
Larsson et al. (2016)	A1–5 Varugrupper: BY03 Betong, -varor, bruk och armering (40 %), BY02 Trävaror, byggskivor, byggplåt (29 %), BY01 Byggnadsisolering (13 %). A1–3 Installationer: Golvvärme , hissar och hissdetaljer, ventilation. <i>A4–5 inklusive markarbeten och garage</i> Transporter av material (A4, 35 %), spillmaterial (27 %), elanvändning (19 %), diesel till markarbeten (15 %).
Liljenström et al. (2014)	A1–5 Byggdelar: BY03 Betong, betongvaror , bruk och armering (50 %), BY02 Trävaror, byggskivor, byggplåt (20 %) Resurser: Byggbetong Skanska C32/40 , VST-skiva (19 %) A5 El (37 %), transporter och produktion spillmaterial (35 %), diesel (25 %).
Peñaloza et al. (2013)	A1–3 Olika för olika scenarier. Betong överlägset mest betydande för betonghuset. Stor betydelse överlag har betong , gipsskivor, mineralull, plaster och bindemedel, trä och trämaterial.
Petrovic et al. (2019)	A1–3 Byggdelar: Grund och underbyggnad (34 %), väggar och fasad (23 %), bjälkar, golv och tak (23 %).

¹¹ VST-skivor är cementbundna fiberskivor som används för att göra platsgjutna väggar. Skivorna sitter sedan kvar som en del av väggen.

	<u>Material: Betong (29 %), dörrar, fönster och delar (21 %), trä (18 %).</u> <u>Undergrupper material: Fabriksblandad betong (29 %), fönster trästomme (14 %).</u>
Ylmén et al. (2018)	Ej angett.
Malmqvist et al. (2018)	A1–5 Fem scenarier: <u>Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form: Betong (45 %), VST-skivor (20 %)</u> <u>Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar: Betong (58 %), plåt, stål (10 %)</u> <u>Prefab betongstomme: Betong (43 %), armering (23 %), isolering (10 %)</u> <u>Volymelement i trä: Gipsskivor (31 %), isolering (13 %), betong (12 %)</u> <u>Massiv stomme i KL-trä: KL-trä¹² (21 %), isolering (16 %), gipsskivor (13 %), betong (12 %)</u>
Brandt & Sonesson (2017)	A1–5 Golvplattor , diverse, ytterväggar, innerväggar (för 2 av 6 scenarier)

Av de tio studerade studierna har åtta angivit vad inom A-modulerna som bidrog till klimatpåverkan och det var ofta fördelningen bland ingående byggmaterial eller byggdelar som redovisades. Av de mest bidragande aspekterna till A1–3 (produktion) eller A1–5 (konstruktion) listade i Tabell 11 var 15 av 18 någon form av betong. De övriga tre var installation av golvvärme samt gipsskivor och korslimmat trä (KL-trä), varav endast två var material, som alltså var jämförbart med betong. Golvvärmen var mest bidragande jämfört med andra installationer, i den studien. Några statistiska slutsatser gick inte att dra med säkerhet från detta material men att betong hade stor betydelse för klimatpåverkan från A1–3 var uppenbart. När det kom till A4 och A5 var det inte lika redovisat i materialet, endast tre studier visade på bidrag till klimatpåverkan från dessa moduler. I ett fall var A4–5 sammansatt och i de andra två fallen var det endast A5 som redovisades. Utifrån dessa studier var den mest bidragande delen av A5 elförbrukningen för konstruktionen tätt följd av transport och produktion av spillmaterial. Studerades A4 och A5 aggregerat bidrog transport av material mest.

Bland de sju ytterligare studierna (Grupp 2) fanns fem som har angivit vad som hade störst klimatpåverkan inom produktionsmodulerna. Fyra studier angav vilket material som hade störst klimatpåverkan och en studie angav vilken konstruktionsdel som hade störst klimatpåverkan, med de två mest klimatpåverkande processerna för den konstruktionsdelen redovisade. I Tabell 12 anges aspekterna med störst klimatpåverkan från modul A1–3 (produktion) och A1–3,5 (produktion och konstruktion, ej transport till byggplatsen).

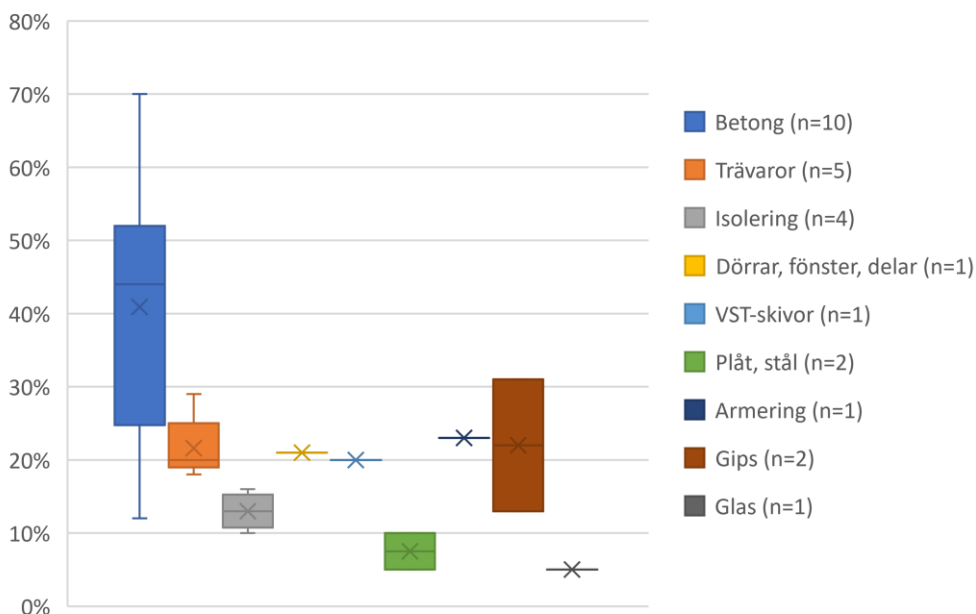
¹² KL-trä är korslimmat trä, vilket består av lager ihoplimmade träskivor. Vartannat lager är korslagt för att öka stabilitet, därav dess namn.

Tabell 12. Sammanställning av resultat för Grupp 2. Aspekter med mest betydande bidrag till klimatpåverkan från A1–3 och A1–3,5 uppdelade i kategorier sorterade med aspekten med störst bidrag först för varje kategori. Mest betydande aspekt för varje kategori är fetmarkerad

Studie	Aspekt med betydande klimatpåverkan
Wallhagen et al. (2011)	A1–3 <u>Material: Armerad betong</u> (69,6 %, 112,2 kg CO ₂ -ekv/m ²), aluminum (5,4 %), glas (4,7 %)
Viborg & Lidström (2014)	A1–3 <u>Material tegelhus: Tegel</u> (109 kg CO ₂ -ekv/m ²), betong (60 kg CO ₂ -ekv/m ²), mur- och putsbruk (33 kg CO ₂ -ekv/m ²) <u>Material trähus: Betong</u> (53 kg CO ₂ -ekv/m ²), cellplast (43 kg CO ₂ -ekv/m ²), takpapp (22 kg CO ₂ -ekv/m ²)
Svensson (2013)	A1–3,5 <u>Material: Isolering</u> (72 kg CO ₂ -ekv/m ²), träfiberskiva (35 kg CO ₂ -ekv/m ²), limträ (32 kg CO ₂ -ekv/m ²)
Gustavsson et al. (2010)	Ej angett.
Dodoo & Gustavsson (2013)	Ej angett.
Dodoo et al. (2014)	A1–3 <u>Material CLT system: Gipsskiva</u> (23 kg CO ₂ -ekv/m ²), mineralull (19 kg CO ₂ -ekv/m ²), trämaterial (17 kg CO ₂ -ekv/m ²) <u>Material Beam and column system: Gipsskiva</u> (30 kg CO ₂ -ekv/m ²), mineralull (24 kg CO ₂ -ekv/m ²), stål (21 kg CO ₂ -ekv/m ²) <u>Material Modular system: Gipsskiva</u> (32 kg CO ₂ -ekv/m ²), mineralull (27,5 kg CO ₂ -ekv/m ²), trämaterial (12 kg CO ₂ -ekv/m ²)
Lydell & Larsson (2018)	A1–3 <u>Konstruktionsdel med tillhörande processer, betonghus: Väggar: betong C40/50, fönster</u> <u>Konstruktionsdel med tillhörande processer, trähus: Bjälklag: limträbalkar och stenull/ultimate</u>

Även bland dessa studier var betong framträdande, dock fanns fyra scenarier där andra material hade störst klimatpåverkan: tegel (Viborg & Lidström, 2014), isolering (Svensson, 2013), gips (Dodoo et al., 2014) och limträ (Lydell & Larsson, 2018). Samtliga av dessa hus var byggda i annat huvudmaterial än betong vilket förklarar den relativt låga klimatpåverkan materialet hade i dessa fall. Jämfördes klimatpåverkan från det mest betydande materialet i absoluta tal fanns en tydlig skillnad mellan betong (och tegel) och resterande material. För betonghus där absolut tal fanns hade betongen en klimatpåverkan på 112,2 kg CO₂-ekv/m². Motsvarande siffra för andra material med mest klimatpåverkan var 72 kg CO₂-ekv/m² (isolering) och 23, 30 samt 32 kg CO₂-ekv/m² (gips). Betong hade alltså inte störst klimatpåverkan enbart på grund av mängden av materialet i huset.

Jämfördes alla studier (Grupp 1 och 2) som hade angett hur stor andel av olika material som bidrog till klimatpåverkan från produktionen gavs fördelningen i Figur 11. Endast de tre mest betydande materialen var inkluderade i grafen. Det är tydligt att betong stack ut, både i frekvens och storlek, men även gips och trä hade en relativt stor klimatpåverkan, jämfört med resterande byggmaterial. I Figur 11 finns ingen relation till absolut klimatpåverkan.



Figur 11. Material med betydande klimatpåverkan. Fördelning av resultat från samtliga studier. Antal datapunkter (n) anges för varje lådogram. Endast betong, trävaror och isolering har fler än två datapunkter, detta bör finnas i åtanke när figuren studeras. Lådornas övre och undre kant markerar den övre respektive under kvartilen. De vertikala linjernas (morrhårens) slutpunkt markerar max- och min-värden. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärde med ett kryss.

5.6.2 Betydande klimatpåverkan från drift (B6)

Modul B6 innefattar energiförbrukningen under driftsfasen av byggnaden och inkluderar uppvärmning, kylning, varmvatten, fastighetsel och i en del studier även hushållsel. Det betyder att klimatpåverkan från driften dels beror av mängden energi som krävs, som påverkas till exempel av hur energisnålt huset är och hur lång livslängd det beräknas ha, dels vilken typ av el som används, framför allt andelen fossil el. Vilka av dessa faktorer och i vilka kombinationer som studierna undersökt dem varierar och finns sammanfattat i Tabell 13 (Grupp 1 och 2). Några resultat är inte presenterade här eftersom studierna i allmänhet inte jämför olika faktorer med varandra. Dock går en diskussion att föra kring den studerade aspekten för varje studie.

Tabell 13. De studier bland samtliga 17 studier (Grupp 1 och 2) inkluderade i analysen som angett klimatpåverkan från ingående delar i modul B6

Studie	Aspekt med klimatpåverkan
Liljenström et al. (2015)	Andel fossil el, analysperiod, med/utan hushållsel
Larsson et al. (2016)	Andel fossil el, analysperiod, med/utan hushållsel
Liljenström et al. (2014)	Andel fossil el, analysperiod, med/utan hushållsel
Malmqvist et al., (2018)	Andel fossil el, analysperiod
Gustavsson et al., (2010)	Typ av el och värme, analysperiod
Dodoo and Gustavsson (2013)	Eluppvärmt/värmepump/fjärrvärme, passivhus/konventionellt, hushållselen är halva klimatpåverkan
Dodoo et al. (2014)	Konventionell/lågenergibygnad, fjärrvärme/värmepump
Svensson (2013)	Hushållsel och fjärrvärme störst klimatpåverkan
Lydell & Larsson (2018)	Olika typer av fjärrvärme
Peñaloza et al. (2013)	Svensk elmix/projektspecifika data
Wallhagen et al. (2011)	Isolering, fönsteryta, elförbrukning, solceller, typ av el
Karami et al. (2015)	Val av isolering
Moucho & Farhat (2017)	Andel glas i fasaden

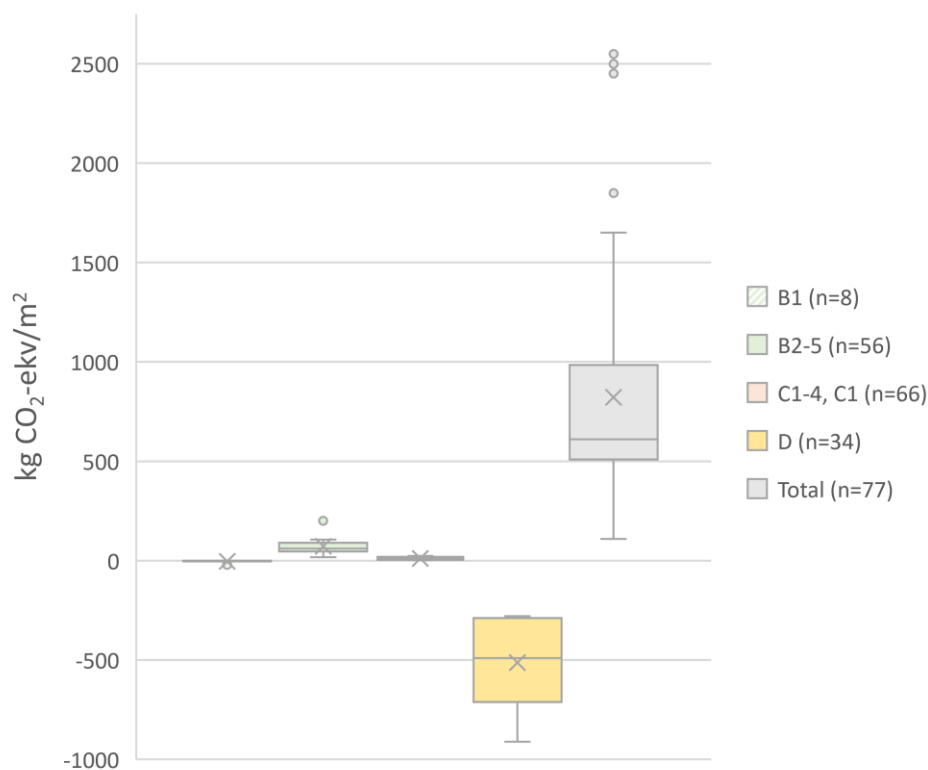
Det gick att dela in studierna i tre grupper, markerade med tjockare streck emellan i Tabell 13, baserat på vilka faktorer som analyserats. Fem av studierna jämförde olika analysperioder och andelen fossil el och där var resultatet enhälligt, en längre analysperiod gav större klimatpåverkan och ju mer fossil el som användes desto större blev klimatpåverkan. Att byta ut fossil el mot en förnybar energikälla var ett effektivt sätt att minska klimatpåverkan från driftsfasen, särskilt eftersom flertalet av studierna påvisade en stor klimatpåverkan från hushållsel som berodde på användaren. Att analysperioden hade stor klimatpåverkan var naturligt eftersom varje år byggnaden var i bruk förbrukas energi. Att minska livslängden på byggnaden kommer ge en lägre total klimatpåverkan men behovet att byggnaden finns kvar och ett nytt hus behöver byggas med ny klimatpåverkan och ytterligare en produktionsprocess.

Hur husen värmdes upp var också en faktor som varierades i studierna och studerades närmare i fem av dem, även jämförelser mellan energisnåla hus och konventionella byggnader fanns bland dessa studier. Växthusgasutsläppen i driftsfasen var kopplade till energiförbrukningen och olika typer av lågenergibygnader hade en mindre klimatpåverkan från driftsfasen än konventionella byggnader. Jämfördes uppvärmning fanns tre i studierna vanligt förekommande metoder: direktverkande elvärme, värmepump och fjärrvärme, här angett med störst klimatpåverkan först baserat på ingående studier. Hur stor klimatpåverkan uppvärmningsslagen hade berodde dock på fler faktorer som vilken typ av el som användes och hur fjärrvärmens producerades. Tre av studierna hade även analyserat andra faktorer, som val av isolering och andelen glas i fönster och dörrar i fasaden, som båda syftade till att sänka energiförbrukningen.

5.6.3 Betydande klimatpåverkan från övriga moduler

Här behandlades Grupp 1 och 2 tillsammans och sammanställning av resultaten finns i Figur 12. Ett fåtal studier inkluderade modul B1 (klimatpåverkan från användningsfasen

utom energi- och vattenförbrukning) i sin analys och i dessa fall utgjordes klimatpåverkan av karbonatisering. Det är alltså en process som minskar mängden växthusgaser i atmosfären. Enligt de få resultat som finns bland materialet i denna studie är det i sammanhanget en liten effekt och endast aktuell i betongbyggnader. Av resterande ej hittills nämnda B-moduler påträffades B2–5 (underhåll), B7 (vattenförbrukning) var inte relevant i dessa studier. Som tidigare nämnt (avsnitt 5.3) varierade klimatpåverkan från B2–5 från i princip obefintlig till 28 %. Spridningen berodde delvis på analysperioden, bland de resultaten med större klimatpåverkan från B2–5 var studier med analysperioden 100 år överrepresenterade jämfört med studier som beräknade livslängden på byggnaderna till 50 år. Det skiljde även mellan hus i olika material, till exempel beräknades trähus ha ett större behov av underhåll än betonghus, vilket påverkade resultatet.



Figur 12. Absolut klimatpåverkan från modulerna B1, B2–5, C1–4 och D. Tillgänglig data från samtliga studier är inkluderade. Antal datapunkter (n) anges för varje lådogram. "Total" avser här den totala beräknade klimatpåverkan i de studier som medverkar i övriga moduler i denna figur. Effekter från modul D är ej inräknade i den totala klimatpåverkan här. Lådornas övre och undre kant markerar den övre respektive under kvartilen. De vertikala linjernas (morrhårens) slutpunkt markerar max- och min-värden. Värden på större avstånd från lådan än en och en halv gånger kvartilavståndet (lådans längd) är extremvärden (outliers) och markeras med en punkt. Median markeras med ett vågrätt streck och medelvärde med ett kryss.

Klimatpåverkan från byggnadens slutskede var i allmänhet mycket liten baserat på undersökta studier. Det skiljde däremot hur studierna beräknade effekter kopplade till slutskedet och även andra delar av livsryttern, som i standarden SS-EN 15978:2011 kallas modul D. De studier som har inkluderat modul D, eller motsvarande för de som inte följt standarden har berört upptag och lagring av kol i biomassa, energiåtervinning av avfall och restprodukter samt undvikta utsläpp från fossila källor. Eftersom det idag inte finns

en enskild definition för hur kol i biomassa och biogena koldioxidutsläpp ska beräknas i LCA:er för byggnader hade många studier uteslutit det. De som hade inkluderat biogena utsläpp däremot har presenterat resultat med stor klimatpåverkan som motverkar växthuseffekten. De studier som beräknade ett stort bidrag till effekten i D inkluderade både effekter från slutskedet och produktionen. Energiåtervinning av restprodukter från skogsindustrin och trämaterial och därmed undvikta utsläpp från fossila källor stod i dessa studier för ca två tredjedelar av resultatet med en ungefärlig klimatpåverkan mellan -200 och -600 kg CO₂-ekv/m², vilket ses i Figur 12. Detta kunde jämföras med totala klimatpåverkan från samtliga studier inkluderade i Figur 12 som varierar stort, mellan 110 och 2549 kg CO₂-ekv/m². Majoriteten av resultaten låg dock mellan 500 och 1000 kg CO₂-ekv/m².

6 DISKUSSION

Det är svårt att jämföra olika LCA:er, trots att samma moduler studerats. Olika tolkningar görs av vad som ingår i varje modul och vilken noggrannhetsnivå studien har. Inkluderas endast de större materialgrupperna eller går studien hela vägen ner till spik och skruv? I allmänhet påverkas resultatet av varje val, ingen studie är den andra lik. Detta är även något Boverket rapporterat om och de uttrycker ett behov av bättre vägledning kring utförandet av LCA samt att utvecklingen av befintliga standarder anpassas för att fungera bra i kombination med byggförordningen (Boverket, 2015). Att jämföra andelen klimatpåverkan är svårt eftersom alla studier tagit med olika saker, det blir mer en fingervisning. Den absoluta klimatpåverkan säger lite mer men även där finns stora skillnader. Med det känt är det intressant att se vad som är det vanligaste resultatet överlag. Ett antagande som görs i driften påverkar hur stor andel av byggnadens totala klimatpåverkan som produktionen står för. Det går inte att uttala sig om vilken del som har störst klimatpåverkan utan att veta omständigheterna i hela studien eftersom det finns en stor variation. Där finns också poängen med LCA, att få ett helhetsperspektiv.

Resultaten för produktion respektive konstruktion i absoluta tal är ganska lika, alltså liten spridning. Detta gäller även resultaten för störst klimatpåverkan inom A-modulerna (produktion och konstruktion) i Tabell 11 och Tabell 12. Det kan bero på att husen byggs lika och att de använder samma data vid analyserna. Flera av studierna har använt generiska data och det är fullt möjligt att det motsvarar data som används i en annan studie. Flertalet av studierna påpekar bristen på specifika data. Även här är Boverket av samma åsikt, mer tillgängliga data behövs för att kunna göra bra analyser (Boverket, 2015). Samtliga studier är dock överens om att produktionsfasen i en byggnads livscykel har betydande klimatpåverkan. Det kan vara intressant att ytterligare jämföra klimatpåverkan från varje material med hänsyn till mängden som används, för att få en uppfattning om klimatpåverkan är stor för ett visst material eller att det är det dominerande materialet i byggnaden som är avgörande. Är det bra att bygga materialsnålt eller bör man alltid byta till ett material med lägre klimatpåverkan per mängd material? Båda alternativen är dock bra eftersom produktionen har en betydande klimatpåverkan oavsett material.

De stora variationerna finns i driften och för att få mer information om vilka val inom modul B6 som har störst klimatpåverkan kan mer ingående studier av driften vara

aktuella. Det vore intressant att jämföra olika faktorer i samma studie, till exempel både variera typ av uppvärmningsmetod och minskad elförbrukning. En maximal minskning av klimatpåverkan från driften är troligtvis en kombination av alla nämnda faktorer, dock kan det påverka andra moduler, varpå vikten av att studera hela livscykeln blir uppenbar. Att dra några slutsatser om vilka faktorer som har störst klimatpåverkan är svårt eftersom det är få studier inkluderade i analysen där både energislag och sätt att minska energianvändningen jämförs samtidigt. Det är däremot uppenbart att det spelar roll vilken el och uppvärmningsmetod som väljs för att minska byggnadens klimatpåverkan. I dessa studier är bra alternativ ofta fjärrvärme från biobränsle och el från låg andel fossila bränslen. Detta ger sig bitvis automatiskt i Sverige eftersom andelen fossil el är mycket låg. Flertalet studier har valt att inkludera scenarier med en hög andel fossil el trots att det i ett svenskt sammanhang är mindre intressant. Att det är det bland annat är det som skiljer studiernas resultat åt är dock fortfarande relevant, även om det inte alltid speglar verkligheten.

Det finns en stor andel scenarier i denna studie där klimatpåverkan från driften är likvärdig med den från produktion/konstruktion. I dessa fall är det viktigt att reducera klimatpåverkan från både produktion/konstruktion och drift, eventuellt med extra fokus på produktion/konstruktion. Teknik och kunskap finns gällande energisnåla och klimatvänligare alternativ för driften, där handlar det om andra faktorer som spelar in som ekonomi, efterfrågan och praktisk möjlighet även om klimatpåverkan från driften har minskat mycket de senaste 30 åren (Boverket, 2018). Inom produktionen är inte framstegen lika stora och det finns gott om utvecklingspotential. Besläktat med driften är underhåll av byggnader och det är ofta en liten del av analyserna men kan ha en relativt stor klimatpåverkan. Det beror mycket på val av material och beräknad livslängd på huset.

Om biomaterial blir vanligare skulle underhåll kunna bli en viktigare fas att studera och förbättra eftersom byggnader i trä kan kräva en annan typ av underhåll än betongbyggnader. Det är något som kan undersökas närmare, det är svårt att förutse vad som kommer hända med byggnaderna om 50 eller 100 år, oavsett material. En möjlig kolsänka som inte studeras särskilt frekvent i materialet till denna studie är karbonatisering. Som tidigare nämnt har det en mycket liten effekt enligt de resultat som inkluderas här. Enligt Andersson et al. (2013) kan dock upptaget av koldioxid från atmosfären på grund av karbonatisering vara mer omfattande än så. Befintliga byggnaders karbonatisering motsvarade 2011 cirka 17 % av de utsläpp som cementproduktionen i Sverige genererade samma år enligt beräkningsmodellen använd av Andersson et al. (2013). Det finns alltså anledning att studera karbonatisering närmare. Underhåll och slutfas är ofta exkluderat i materialet i denna studie vilket beror både på brist på data och antagandet att de inte har stor klimatpåverkan. Däremot visar några av studierna som inkluderat dessa faser att det finns en viss klimatpåverkan så att inkludera dessa faser är relevant. Särskilt värdefullt blir det om en omställning sker i produktionsfasen, till exempel till användning av biomaterial i en större utsträckning, eftersom det inte är känt vad det får för effekter på underhåll och slutfas.

Framtida scenarier för samhällsplanering och mer specifikt hur slutfasen för en byggnad hanteras är ett intressant område som kan utforskas mer. För att göra studier mer jämförbara trots olika analysperiod kan år och kvadratmeter användas som funktionell enhet. Det går att göra i nya studier men skulle också vara möjligt i denna studien genom

att slå ut total klimatpåverkan på antal analyserade år för varje studie. Det här skulle betyda att den stora skillnaden i klimatpåverkan från driften mellan en studie med analysperiod på 50 år jämfört med en period på 100 år skulle bli mindre. Ett annat alternativ är att beräkna klimatpåverkan per ett visst antal år av boendebehov. Det skulle då som exempel ge ett hus som står 100 år eller två hus om står 50 år var. Detta speglar eventuellt verkligheten bättre i ett stort perspektiv men inte om det handlar om hur ett specifikt hus ska byggas.

De studier som inkluderat effekter från biogent kol i studierna får ett resultat som skiljer sig mycket från övriga eftersom klimatpåverkan är stor. Det finns delade meningar om detta borde inkluderas i analyser över byggnader och i så fall på vilket sätt (Malmqvist et al., 2018) vilket resulterar i olika typer av tillvägagångssätt. Riktlinjer borde utformas och eventuellt inkluderas i standarden SS-EN 15978:2011 om målet är att få mer jämförbara studier. Att använda biomaterial skulle kunna ha en stor effekt på en byggnads totala klimatpåverkan. Det är dock inte något som syns i denna studie då all klimatpåverkan som minskar mängden växthusgaser i atmosfären är exkluderad från total klimatpåverkan, eftersom den presenterades så i studierna (med undantag för några i Grupp 2). I denna studie kan en intressant fortsättning på detta vara att studera de studier som räknat biomaterial som möjliga kolsänkor och jämföra deras tillvägagångssätt. Även att beräkna ny total klimatpåverkan där dessa processer utanför systemgränserna inkluderas är intressant. Det finns även andra faktorer kopplade till detta som är intressant att studera som markanvändning och hållbart skogsbruk om användningen av biomaterial ökar. Ett skogsbruk som leder till ett mindre upptag av koldioxid i Sverige är ett problem. Detta upptag av koldioxid av skogen är en viktig faktor för att hejda den globala uppvärmningen enligt IPCC (2019). Det är därför viktigt att undvika negativa effekter av ett ökat skogsbruk både för möjligheten till ett större koldioxidupptag och för att undvika att ersätta dagens problem med nya. Vid dessa typer av analyser där det finns en stor potential för klimatpåverkan utanför systemgränserna i standarden SS-EN 15978:2011 är det viktigt att inkludera även modul D, där dessa typer av fördelar och belastningar hanteras. Detta görs inte så frekvent i materialet i denna studie, vilket kan tyda på att standarden inte är lämplig för dessa typer av analyser, vilket har kommenterats tidigare. Att utreda om och hur detta ska hanteras är värdefullt för framtida beräkningar.

En stor del data i denna studie är baserad på uppskattningar från diagram i studierna från litteraturöversikten. Trots det bedöms analysen trovärdig och stämmer väl överens med den nulägesbeskrivning som finns i *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft* för bygg- och anläggningssektorn (Fossilfritt Sverige, 2018). Att spridningen var så stor på driften och delvis produktion/konstruktion men mycket liten på övriga faser, tyder på att den orsakats av studiernas skillnader, och inte datainsamlingen. Detta är även ett tydligt tecken på att hur analyser och rapporter utformas är viktigt. Skillnaderna i spridning av data kan även till viss del förklaras av att alla dataset är olika stora. Hur många datapunkter det fanns för varje modul är helt beroende av vad de analyserade studierna inkluderat. De mest studerade modulerna är A1–3 (produktion) och B6 (drift) så dessa dataset är betydligt större än övriga. I vissa grafer i denna studie kan ett dataset bestå av en eller ett fåtal punkter vilket kan ge en missvisande bild. Det finns dock med i figurtexten till dessa för att läsaren ska kunna bilda sig en rättvis uppfattning. Även använda ytenheter skiljer sig mellan studierna, dessa bedöms dock vara tillräckligt lika för att ingen omvandling ska

vara nödvändig. Den här studien berör inte exakta siffror utan handlar mer om allmänna resultat i stora drag, små skillnader i beräknade ytor påverkar inte resultatet nämnvärt.

Vill man däremot jämföra studier med en större noggrannhet är dessa skillnader ett problem och mer arbete för att utveckla standarden och göra mer specifika data tillgänglig, speciellt för underhålls- och slutfaserna där det saknas data idag, skulle förbättra de möjligheterna. Det är intressant att göra fler projektspecifika studier för att kunna jämföra med studier baserade på generiska data och identifiera eventuella skillnader. Det är möjligt att generiska studier ger ett tillräckligt gott resultat för att identifiera de stora utsläppskällorna, vilket kan vara värdefullt eftersom en projektspecifik studie kan vara mycket tidskrävande. Vill man däremot förbättra en specifik produktion, som den vanligaste typen av byggnad ett visst företag producerar, är en projektspecifik analys intressantare för att lägga resurserna på precis rätt ställe.

Resultaten i den här studien är allmänna för byggnader, inom ramarna för syftet och analyserat material, och bör därför inte enskilt ligga till grund för beslut. Det är lätt att få bilden av att det endast är produktionen och driften som bör förbättras men eftersom byggbranschen är en stor bransch kan även en liten förändring ge stora konsekvenser. Att minska klimatpåverkan från underhållet för byggnader kan göra stor skillnad på nationell skala även om det är en liten andel av en enskild byggnads klimatpåverkan och ska klimatneutralitet nås behövs även de mindre åtgärderna. Med ett större perspektiv bör ytterligare faktorer vägas in som inte är inkluderade här. Flertalet av studierna studerar andra miljöpåverkanskategorier utöver klimatpåverkan, som övergödning, försurning, toxicitet och bildandet av marknära ozon. Även vattenförbrukning och markanvändning är intressant att studera i framtida studier. När det gäller byggbranschen är även ekonomi och politik två stora faktorer som påverkar samhällsbyggandet vilket ligger utanför den här studiens ramar. I framtida studier är det intressant att inkludera dessa faktorer för att få en mer rättvisande bild av verkligheten och för att inte lösa ett problem genom att skapa ett nytt.

6.1 OSÄKERHETER

Litteratursökningen syftade till att hitta ”alla” tillgängliga svenska LCA:er gjorda på byggnader efter 2008. Dock får det antas att det finns missar. Sökningarna kan ha varit ofullständiga vilket gjort att visst material inte fanns med på träfflistan. Det finns antagligen även opublicerade analyser utförda av till exempel företag för internt syfte, som kunde ha bidragit med kunskap i detta arbete. Efter den systematiska sökningen kunde en sökning efter sekundärkällor utföras, alltså studier som materialet hänvisar till. Detta gjordes dock inte eftersom sökresultatet redan var omfattande och ännu större hade inte varit hanterbart. Vid noggrannare underökning av det funna materialet är det dock uppenbart att flera möjliga sekundärkällor redan finns med eftersom flertalet studier hänvisar till varandra. Titelgallringen gjordes enligt principen hellre fria än fälla, trots det kan det ha blivit fel ibland eftersom titlarna ofta är svårtydda och inte alltid ger just den information som eftersöktes vid gallringen. Vid sammanställningen av alla resultat plockades mycket data från diagram eftersom resultatet ofta presenterades så. Det betyder att en stor del av data använd i det här arbetet är baserad på uppskattningar. De ses dock fortfarande som tillräckligt pålitliga resultat eftersom detta arbete inte enbart jämför exakta siffror med stor noggrannhet. Det krävdes även en viss del tolkning för att

sammanställa resultaten eftersom det inte alltid framgick tydligt vad som var vad och det ibland saknades enheter.

Materialet till analysen delades upp i två grupper. Det är stor skillnad mellan alla studierna gällande systemgränser, beräkningar, funktionell enhet, detaljnivå, typ av data och hur de redovisar sitt resultat och det medför svårigheter när studiernas ska jämföras med varandra. Hade alla studier angett klimatpåverkan för varje modul enskilt och inkluderat samtliga moduler hade en jämförelse blivit bättre. Eftersom fördelningen av klimatpåverkan mellan olika delar av livscykeln skulle jämföras är modulindelningen i standarden SS-EN 15978:2011 ett bra sätt att minska en osäkerhet kring uppdelningen. För att inte stapla alltför många felkällor och osäkerheter på varandra hölls Grupp 1 och 2 isär. Resultaten skiljer sig inte nämnvärt från varandra för några av modulerna vilket talar för att gruppindelningen inte behövts. Dock ligger problemet i att det inte med säkerhet går att dra den slutsatsen, det går inte att avgöra om resultaten från grupperna är lika på grund av ett kausalt samband eller slump, dessutom är modulerna med mindre klimatpåverkan underrepresenterade i Grupp 2. I de fall endast några av studierna bidrog med data har grupperna analyserats tillsammans för att utöka datamängden.

6.2 FORTSATTA STUDIER

- Jämföra klimatpåverkan från olika material med hänsyn till mängden som används.
- Vad är det troligaste scenariot för byggnader om 50 eller 100 år? Hur ser samhällsbyggandet ut då? Hur hanteras avfall?
- Utforma riktlinjer kring hur biomaterial ska hanteras i analyser av byggnader.
- Studera studier som beräknat biomaterial som möjliga kolsänkor och jämföra deras tillvägagångssätt.
- Beräkna total klimatpåverkan där effekter från biogent kol inkluderas och analysera resultatet.
- Studera andra faktorer som markanvändning, skogsbruk, ekonomi, politik och fler miljöpåverkanskategorier.
- Utföra projektspecifika LCA:er med olika scenarier för att utröna hur just det projektet kan minska sin klimatpåverkan.
- Jämföra projektspecifika och generiska data. Är det värdefullt att göra projektspecifika analyser eller är det onödigt tidskrävande?
- Studera modulerna som är underrepresenterade i studierna i denna analys närmare. Varför inkluderas de inte? Vilken klimatpåverkan har de? Finns förbättringspotential?
- Jämföra studiers resultat per år, alltså med funktionell enhet m^2 och år.
- Studera karbonatisering närmare.

7 SLUTSATSER

De dominerande modulerna är A1–3 (produktion) och B6 (drift) och det är också de mest frekvent undersökta modulerna. Störsts bidrag till klimatpåverkan inom dessa moduler har användandet av betong, val av energislag och beräknad livslängd på byggnaden. Studierna har generellt liknande resultat för fördelningen av klimatpåverkan mellan modulerna men klimatpåverkan i absoluta tal skiljer en del, i synnerhet för driftsfasen (B6) och för modul D i de fall den är inkluderad. Potentialen för trämaterial som kolsänka är stor, dock krävs ett gemensamt förfarande vid beräkning av detta i LCA:er på byggnader.

Materialet har varit svårt att jämföra eftersom ingen studie studerat samma moduler som någon annan samt att de baseras på olika antaganden och avgränsningar. Ingen studie har följt standarden SS-EN 15978:2011 fullt ut. Det har även skiljt mycket hur resultat presenterats vilket har försvårat analysen och krävt tolkning för att kunna sammanställa och jämföra. Det behövs ett utvecklat och bättre anpassat arbetssätt för att studier ska bli mer jämförbara. Arbetet har dock öppnat upp för många fortsatta studier som kan leda till fortsatt arbete inom byggbranschen med att minska klimatpåverkan.

7.1 FÖRFATTARENS REKOMMENDATIONER

Detta avsnitt ger uttryck för författarens personliga åsikter och rekommendationer, baserade på den vetenskapliga analys som utförts i denna studie. Det kan ses som ett förslag på hur slutsatserna i denna studie kan användas.

Jag anser att man bör göra LCA:er på specifika projekt i ett tidigt skede för att få mer detaljerade analyser, och då verkligen leta upp data för alla processer, alltför många studier jag har läst utesluter till exempel modul C och D på grund av brist på data. De få studier som har inkluderat modul D, särskilt de som studerar biomaterial, har resultat som sticker ut, vilket jag tycker är mycket intressant. Hur man räknar på energiåtervinning, undvikta utsläpp och kol bundet i biomaterial behöver specificeras om det ska användas som grund till beslut, ett gemensamt arbetssätt behövs. Jag tycker att man bör försöka minska klimatpåverkan från produktionen genom att testa alternativa material till betong, till exempel trä. Att göra livscykelanalyser är bra för att se var den stora klimatpåverkan ligger, men det betyder inte att man ska ignorera övrig mindre klimatpåverkan vid åtgärder och fortsatta studier. Finns det möjlighet att minska klimatpåverkan från till exempel transporter tycker jag man ska göra det, även om det inte är den största orsaken till en byggnads klimatpåverkan.

Peab skriver i sin hållbarhetsredovisning för 2018 att deras största källa till koldioxidutsläpp kommer från transporter, arbetsmaskiner och uppvärmning av byggbodas, och de arbetar med att minska den klimatpåverkan (Peab, 2019), vilket är bra. Vill de ta ansvar för hela livscykeln tycker jag de (och andra liknande aktörer) bör ställa krav på materialproducenter och underleverantörer och kanske även sina kunder som sedan förvaltar och framförallt värmer upp byggnaden, eftersom det är produktion av material och byggdelar samt driften som påverkar mest sett över hela livscykeln.

8 REFERENSER

- Andersson, M., Barkander, J., Kono, J., Ostermeyer, Y., 2018. *Abatement cost of embodied emissions of a residential building in Sweden*. Energy Build. 158, 595–604. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.023>
- Andersson, R., Fridh, K., Stripple, H., Häglund, M., 2013. *Calculating CO₂ Uptake for Existing Concrete Structures during and after Service Life*. Environ. Sci. Technol. 47, 11625-11633. <http://doi.org/10.1021/es401775w>
- Baumann, H., Tillman, A.-M., 2004. *The hitch hikers' s guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Studentlitteratur, Lund.
- Bovea, M.D., Powell, J.C., 2016. *Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes*. Waste Manag. 50, 151–172. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036>
- Boverket, 2019. *Miljöindikatorer 2018* 37.
- Boverket, 2018. *Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan*. Boverket.
- Boverket, 2017. *Om Boverket*. URL <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/>
- Boverket, 2015. *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv*. Boverket.
- Boverket, n.d. *Boverkets publikationer* [WWW Document]. Boverket. URL <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/> (accessed 5.14.19).
- Brandt, A., Sonesson, H., 2017. *The Environmental Potential of Hybrid Load Bearing Systems A Life Cycle Assessment of a Skanska Residential Reference House* (Examensarbete avancerad nivå). Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Byggipedia, n.d. *Byggsektorns aktörer & intressenter* | Byggipedia.se [WWW Document]. URL <https://byggipedia.se/byggbranschen/byggsektorns-aktorer-intressenter/> (accessed 5.15.19).
- Ceu, T.T.H., 2016. *Jämförelse mellan två fasadbeklädnader : En hållbarhetsanalys med fokus på livscykelanalys, kostnadsanalys samt sociala aspekter* (Examensarbete avancerad nivå). Högskolan i Borås.
- Chalmers tekniska högskola, n.d. *RESEARCH.chalmers.se Publikationer*. URL <https://research.chalmers.se/organisation/?tab=publications> (accessed 5.14.19a).
- Chalmers tekniska högskola, n.d. *Om research.chalmers.se*. URL <https://research.chalmers.se/about/> (accessed 5.6.19b).
- Chalmers tekniska högskola, n.d. *Chalmers studentarbeten: Utökad sökning* [WWW Document]. Chalmers Stud. URL <http://studentarbeten.chalmers.se> (accessed 5.14.19c).
- DiVA, n.d. *Om DiVA* [WWW Document]. URL <http://www.diva-portal.org/smash/aboutdiva.jsf?dswid=-1821&faces-redirect=true&language=sv> (accessed 5.15.19a).
- DiVA, n.d. *Research publications* [WWW Document]. URL <http://www.diva-portal.org/smash/search.jsf?dswid=-3251&searchType=RESEARCH&faces-redirect=true&query=&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D> (accessed 5.14.19b).
- DiVA, n.d. *Student theses* [WWW Document]. URL <http://www.diva-portal.org/smash/search.jsf?dswid=-3251&searchType=UNDERGRADUATE&faces-redirect=true&query=&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D> (accessed 5.14.19c).

- Dodoo, A., Gustavsson, L., 2013. *Life cycle primary energy use and carbon footprint of wood-frame conventional and passive houses with biomass-based energy supply*. Appl. Energy 112, 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.008>
- Dodoo, A., Gustavsson, L., Sathre, R., 2014. *Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems*. Energy Build. 82, 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.034>
- Elsevier B.V., 2017. *Scopus Content Coverage Guide*.
- Elsevier B.V., n.d. *Scopus - Advanced search* [WWW Document]. URL <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=advanced&origin=searchbasic&txGid=7b9b72d330d9773a1b3ad2abda7a6852> (accessed 5.14.19).
- Fossilfritt Sverige, 2018. *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft Bygg- och anläggningssektorn*.
- Fossilfritt Sverige, n.d. *Information om initiativet* [WWW Document]. Foss. Sver. URL <http://fossilfritt-sverige.se/om-fossilfritt-sverige/> (accessed 8.8.19).
- Friberg, F., 2011. *Dags för uppsats vägledning för litteraturbaserade examensarbeten*. Studentlitteratur, Lund.
- Gustavsson, L., Joelsson, A., 2010. *Life cycle primary energy analysis of residential buildings*. Energy Build. 42, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.017>
- Gustavsson, L., Joelsson, A., Sathre, R., 2010. *Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building*. Energy Build. 42, 230–242. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.018>
- Hassan, O.A.B., Johansson, C., 2018. *Glued laminated timber and steel beams: A comparative study of structural design, economic and environmental consequences*. J. Eng. Des. Technol. 16, 398–417. <https://doi.org/10.1108/JEDT-12-2017-0130>
- IPCC, 2019. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Approved draft.
- IPCC, 2014. *Climate change 2014: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press
- IVL, n.d. *Organisation*. URL <https://www.ivl.se/toppmeny/om-ivl/organisation.html> (accessed 5.8.19).
- Kamb, A., Larsson, J., 2019. *Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990-2017*. Institutionen för Rymd-, geo- och miljövetenskap, Göteborg.
- Karami, P., Al-Ayish, N., Gudmundsson, K., 2015. *A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels*. Energy Build. 109, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.031>

- Karolinska Institutet Universitetsbiblioteket, 2019. *Systematiska översikter / Karolinska Institutet Universitetsbiblioteket* [WWW Document]. URL <https://kib.ki.se/sokavardera/systematiska-oversikter> (accessed 5.15.19).
- Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T., Kellner, J., 2016. *Byggandets klimatpåverkan - Livscykelberäkningar av klimatpåverkan för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus med massiv stomme av trä*. Sveriges Byggindustrier och IVL Svenska miljöinstitutet.
- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G., 2014. *Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften - Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning ev ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil*. KTH, Stockholm.
- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M., 2015. *Byggandets klimatpåverkan - Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong*. Sveriges Byggindustrier och IVL Svenska miljöinstitutet.
- Lund University Libraries, n.d. *Lund University Publications* [WWW Document]. URL <https://lup.lub.lu.se/search/advanced-search> (accessed 5.14.19a).
- Lund University Libraries, n.d. *User guide* [WWW Document]. URL <https://lup.lub.lu.se/search/doc/userguide> (accessed 5.10.19b).
- Lundgren, J., Westbom, H., 2018. *Livscykelanalys på stommateriäl - En jämförande livscykelanalys med fokus på koldioxidutsläpp och energianvändning* (Examensarbete grundnivå). Örebro universitet.
- Lunnergård, F., Nilsson, D., 2018. *Integrering av LCA och LCC i en multikriterieanalys : Optimering av byggnadsdelar* (Examensarbete grundnivå). Högskolan i Jönköping.
- Lydell, A., Larsson, E., 2018. *Livscykelanalys och livscykelkostnadsanalys av nyckelfärdiga flerbostadshus : En jämförelse mellan betong- och träkonstruktion* (Examensarbete avancerad nivå). Linköpings universitet.
- Malmqvist, T., Erlandsson, M., Kellner, J., Francart, N., 2018. *Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus - LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport*. Sveriges Byggindustrier och IVL Svenska miljöinstitutet.
- Matthews, H.S., Hendrickson, C.T., Matthews, D.H., 2014. *Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter*. Open access textbook.
- Moucho, M., Farhat, N., 2017. *Användning av glas i kontorsbyggnader : Fokus på energi- och koldioxidutsläpp* (Examensarbete grundnivå). Högskolan i Jönköping.
- Peab, 2019. *Års- och hållbarhetsredovisning 2018*.
- Peab, n.d. *Miljö* [WWW Document]. URL <https://peab.se/hallbarhet/miljo/> (accessed 8.8.19).
- Peñaloza, D., 2015. *Klimatpåverkan från träprodukter: ATT KROSSA EN MYT – Husbyggaren*.
- Peñaloza, D., Norén, J., Eriksson, P.-E., 2013. *Decreasing the carbon footprint of energy efficient buildings, what comes next?* Presented at the Passivhus Norden 2013, SP Technical Institute of Sweden.
- Petrovic, B., Myhren, J.A., Zhang, X., Wallhagen, M., Eriksson, O., 2019. *Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden*. Energy Procedia 158, 3547–3552. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.913>
- PRISMA, 2009. *PRISMA 2009 Checklist*.

- Prop. 2016/17:146 *Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige*. Hämtad: <https://www.regeringen.se/49fe25/contentassets/480ed767687b4b7ba6c960f9c1d4857f/ett-klimatpolitiskt-ramverk-for-sverige-prop.-201617146>
- Rautio, K., Johansson, I., 2010. *En jämförelsestudie av koldioxidsläpp för en byggnad med trä- respektive betongstomme ur ett livscykelerspektiv* (Examensarbete grundnivå). Högskolan i Gävle.
- Sathre, R., Gustavsson, L., 2009. *Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change*. Appl. Energy 86, 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.007>
- SBUF, 2013. *Så arbetar SBUF / SBUF* [WWW Document]. URL <https://www.sbuf.se/Om-SBUF/Hur-SBUF-arbetar/> (accessed 5.14.19).
- SBUF, n.d. *Sök / SBUF* [WWW Document]. URL <https://www.sbuf.se/search/> (accessed 5.14.19).
- SCB, 2018. *Utsläpp av växthusgaser i Sverige* [WWW Document]. Utsläpp Av Växthusgaser Sver. URL <http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/utslapp-av-vaxthusgaser-i-sverigeut/> (accessed 8.7.19).
- Sinha, R., Lennartsson, M., Frostell, B., 2016. *Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study*. Build. Environ. 104, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.012>
- SIS, 2011. Svensk standard SS-EN 15978:2011 *Hållbarhet hos byggnadsverk - Värdering av byggnaders miljöprestanda - Beräkningsmetod*.
- SIS, 2006. SS-EN ISO 14040:2006 *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur*.
- SLU, n.d. *Epsilons öppna arkiv*. URL <https://pub.epsilon.slu.se/information.html> (accessed 5.6.19a).
- SLU, n.d. *Advanced Search - Epsilon Archive for Student Projects* [WWW Document]. URL <https://stud.epsilon.slu.se/cgi/search/advanced> (accessed 5.14.19b).
- Smith, M., 2019. *Parisavtalet* [WWW Document]. Naturvårdsverket. URL <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Parisavtalet/> (accessed 8.1.19).
- Svensson, M., 2013. *"Life cycle assessment of the semidetached passive house "Röda lyktan" in northern Sweden : A comparison between the construction phase and the use phase* (Examensarbete grundnivå). Mittuniversitet.
- Sveriges byggindustrier, n.d. *Förbundet*. URL https://www.sverigesbyggindustrier.se/organisation/forbundet__109 (accessed 5.6.19a).
- Sveriges byggindustrier, n.d. *Energi & Miljö* [WWW Document]. URL https://publikationer.sverigesbyggindustrier.se/sv/energi-miljo__764 (accessed 5.14.19b).
- Tettey, U. Y., Dodoo, A., Gustavsson, L., 2019. *Carbon balances for a low energy apartment building with different structural frame materials*. Energy Procedia 158, 4254–4261. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.801>
- Viborg, T., Lidström, G., 2014. *Jämförande livscykelanalys av motsvarande tegel- och träkonstruktioner* (Examensarbete grundnivå). KTH.
- Wallhagen, M., Glaumann, M., Malmqvist, T., 2011. *Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change – Case study on an office building in Sweden*. Build. Environ. 46, 1863–1871. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.02.003>

- Williams Portal, N., Lohmeyer, R., Wallbaum, H., 2014. *Sustainability of Reinforcement Alternatives for Concrete*. Proc. Concr. Innov. Conf. 2014 – CIC 2014.
- Ylmén, P., Berlin, J., Mjörnell, K., Arfvidsson, J., 2017a. *The importance of including secondary effects when defining the system boundary with life cycle perspective: Case study for design of an external wall*. J. Clean. Prod. 143, 1105–1113.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.009>
- Ylmén, P., Mjörnell, K., Berlin, J., Arfvidsson, J., 2017b. *The influence of secondary effects on global warming and cost optimization of insulation in the building envelope*. Build. Environ. 118, 174–183.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.019>
- Ylmén, P., Peñaloza, D., Schade, J., 2018. *Livscykelstudie av kontor med kombinerad betong- och träkonstruktion*. RISE, Borås.

BILAGA A – SÖKSTRATEGIER

Tabell A.1 Sökstrategi DiVA, sista raden är studentarbeten

Fritextsökning	Avgränsningar	Antal resultat	Strategi
(livscykel* AND bygg*) OR ("life cycle" AND construction) OR ("life cycle" AND building)	Publ.år: 2009–2019 Språk: engelska Inkl. endast: Refereegranskat + övrigt vetenskapligt	462	Exkluderade konferensbidrag till nästa sökning på grund av dess begränsade omfattning och djup.
(livscykel* AND bygg*) OR ("life cycle" AND construction) OR ("life cycle" AND building)	Publ.år: 2009–2019 Språk: engelska Typ av publ.: Refereegranskat + övrigt vetenskapligt Exkl. konferensbidrag	323	Behövde begränsas ytterligare. Till varje sökblock adderades sökning på nyckelord LCA.
(livscykel* AND bygg*, nyckelord: lca) eller ("life cycle" och construction, nyckelord: lca) eller ("life cycle" och building, nyckelord: lca)	Publ.år: 2009–2019 Språk: engelska Typ av publ.: Refereegranskat + övrigt vetenskapligt Exkl. konferensbidrag	60	Hanterbart och relevant.
(livscykel* och bygg*, nyckelord: lca) eller ("life cycle" och construction, nyckelord: lca) eller ("life cycle" och building, nyckelord: lca)	Publ.år: 2009–2019	70	Denna sökning adderades till den ovan.

Tabell A.2 Sökstrategi Chalmers

	Fritextsök	Antal resultat	Strategi
Forskning	Lca* bygg*	80	
	Lca* construction*	62	
	Lca* construction* bygg*	54	
	Lca* building*	77	Många träffar från Institutionen för Bygg- och miljöteknik, vilket tyder på relevanta studier. Behöver dock avgränsas ytterligare.
	Lca* construction* bygg* building*	37	
	Lca "life cycle" construction building*	34	Bytte ut svenska ord och lade till "life cycle"
Student	Livscykel* lca hus bygg*	0	För många sökord.
	Livscykel* bygg*	4	Testar om * funkar.
	Livscykellanalys bygg*	7	
	livscykellanalys	13	Sökfunktionen använder AND automatiskt så ett ord ger bäst resultat.

Tabell A.3 Sökstrategi för sökning i Sveriges lantbruksuniversitets digitala arkiv Epsilon

	Fritextsök	Avgränsningar	Antal resultat	Strategi
Forskning	Construction OR building	Publ.år: 2009–2019 Nyckelord: lca	12	Kan vara för smalt, testar att ta bort nyckelordet.
	Construction OR building	Publ.år: 2009–2019	413	Behöver avgränsas.
	Construction AND building AND lca	Publ.år: 2009–2019	1	För smalt.
	lca	Publ.år: 2009–2019	5	Förkortningen ger inte mycket så testar med hela begreppet.
	Construction OR building	Publ.år: 2009–2019 Nyckelord: life cycle assessment	25	Bra!
	Construction OR building OR bygg*	Publ.år: 2009–2019, nyckelord: "life cycle" OR livscykel	36	
	Construction OR building	Publ.år: 2009–2019, nyckelord: "life cycle" OR lca	38	
Student	Bygg* OR hus	Publ.år: 2009–2019, nyckelord: livscykel* OR lca	17	

Tabell A.4 Sammanställning av slutgiltiga sökstrategier, sökord och nyckelord för varje källa

Strategier, sökord och nyckelord		Scopus	DiVA forskning	DiVA student	Chalmers forskning	Chalmers student	Lund forskning	SLU forskning	SLU student	IVL	Boverket	Sveriges byggindustrier
Strategier	Svenska	X		X		X			X	X	X	X
	Engelska	X	X		X		X	X				
	LCA-blocket	X	X	X	X	X		X	X		X	X
	Byggblocket	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Nyckelord	X	X	X			X	X	X			
	Ej sök i fulltext	X										
	Endast Sverige	X										
Sökord	Livscykel*	X		X		X					X	
	LCA	X			X	X					X	
	"Life cycle"	X	X		X							
	Bygg*	X		X		X			X	X		
	Hus	X		X		X			X	X		
	Construction	X	X	X	X		X	X				
	Building	X	X		X		X	X				
Nyckelord	LCA	X					X					
	Livscykel*	X		X								
	"Life cycle"	X	X				X					

BILAGA B - SAMMANSTÄLLNING AV STUDIER

Titel	A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels	Abatement cost of embodied emissions of a residential building in Sweden	Användning av glas i kontorsbyggnader : Fokus på energi- och koldioxidutsläpp
Författare, år	Karami et al., 2015)	(Andersson et al., 2018)	(Moucho and Farhat, 2017)
Publicerad av	Energy and Buildings	Energy and Buildings	Tekniska högskolan i Jönköping
Samarbete	KTH, CBI		-
Typ av publicering	Artikel	Artikel	Examensarbete grundnivå
Syftet med studien	Jämföra tre olika typer av hus, standard mot lågenergi. Standard, välisolerad med konventionell isolering, välisolerad med VIP (vacuum insulation technology)	Jämför 14 olika designval/modifieringar (golvv, ytterväggar, innerväggar, alt. material) på en byggnad för att identifiera sätt att minska byggnadens klimatpåverkan. Även kostnadsanalys finns med.	Hur påverkar andelen glas i fasaden på en kontorsbyggnad klimat (och energianvändning)
Typ av objekt	Flerfamiljshus	Lägenhetshus	Kontor
Funktionell enhet	hus, 50 år	m ² A _{temp}	hus (energin är per m ²)
Systemgränser	Cradle to gate. A1-3, B6	Cradle to gate. A1-A5	A1-5, B1-7, C1-4, D
Miljöpåverkans-kategorier	Primärenergi, klimatpåverkan. Endast i produktionskedjet: ozonnedbrytning, försurning, övergödning	Klimatpåverkan (GWP)	Specifik energiförbrukning [kWh/m ²], klimatpåverkan [kg CO ₂ -ekv.]
Ev. specifikt ämnesområde	Standard mot lågenergibyggnad	-	Andelen glas i fasad
Konsekvens- eller bokföringsanalys	-	Ej angivet. (Konsekvens)	Ej angivet. (Bokföring)
Metod/programvara	Ej angivet	Anavitor	One Click LCA
Datatyp och källa	EDP:er och ibland direkt från tillverkare	Generisk. Ecoinvent, IVL, KBOB	EPD:er
Redovisas beräkningar och data?	Nej	Redovisar mycket data men inte alla beräkningar.	I bilagor
Slutsats	Ökad isolering minskar energiförbrukningen och miljöpåverkan från byggnader. Produktion av VIP har större miljöpåverkan än konventionell isolering (utom ODP). Tas hänsyn till både produktion och drift har hus med VIP lägre påverkan (GWP och PE). Stor del av påverkan kommer från produktion och man bör minska energiförbrukningen där eller hitta alternativa energikällor.	"It was found that abatement of embodied emissions were costeffective in relation to carbon dioxide abatement in other sectors.Up to 15% of embodied emissions could be reduced using cost neutral or nearly cost neutral measures. " "Acoustic requirements were found to be a limiting factor inabatement of embodied emissions."	"Den specifika energianvändningen minskar minimalt vid ökning av glasarean från 30 till 50 %, medan den å andra sidan ökar vid ökning av glasarean från 50 till 70 %." "Energianalyserna framvisade att en stor del energi krävs för att kyla ner kontoren under sommaren,..." "Om betong i fasaden ersätts med en utökad glasarea med mörkare ton och rätt solskyddsbeläggning kan lönsamheten gällande minskningen av den specifika energianvändningen och koldioxidutsläppet möjligtvis kunna uppnås."

Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change – Case study on an office building in Sweden	Byggandets klimatpåverkan - Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong	Byggandets klimatpåverkan - Livscykelberäkningar av klimatpåverkan för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus med massiv stomme av trä	Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften - Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning ev ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil
(Wallhagen et al., 2011)	(Liljenström et al., 2015)	(Larsson et al., 2016)	(Liljenström et al., 2014)
Building and Environment	IVL Svenska Miljöinstitutet (Finns även publicerad av Sveriges byggindustrier)	IVL Svenska Miljöinstitutet (Finns även publicerad av Sveriges byggindustrier)	KTH
Högskolan i Gävle, KTH	-	-	IVL, Skanska
Artikel	Rapport	Rapport	Rapport
Undersöka hur beslut tidigt i byggproccen kan påverka energiförbrukning och klimatpåverkan. LCAn görs på förändringar på en befintlig byggnad men resultatet ska användas för beslut tidigt i byggprocessen.	"Med hjälp av livscykelanalysmetodik har vi studerat klimatpåverkan och energianvändningen för ett nybyggt flerfamiljshus med lågenergiprofil."	Studera klimatpåverkan från ett flerfamiljshus med stomme av trä. Jämföra produktionskedje med drift och identifiera ev. hotspots.	Beräkna miljöpåverkan från produktions- och driftsfasen för ett flerfamiljshus med betongstomme med lågenergi-profil. Jämförelse mellan uppströms och nedströms påverkan.
Kontor	Lägenhetshus (Blå Jungfrun)	Lägenhetshus (Strandparken)	Lägenhetshus (Blå Jungfrun)
hus, 50 år	$m^2 A_{temp}$	$m^2 A_{temp}$	$m^2 A_{temp}$
Byggmaterial: produktion (cradle to gate), energiförbrukning: drift	A1-5, B2, B4-6, C1-4	A-C	A1-5, B6. Produktion, konstruktion, drift (energi)
Klimatpåverkan (GWP)	Klimatpåverkan (GWP), kumulativ energianvändning	Klimatpåverkan (GWP)	Klimatpåverkan (GWP), kumulativ energianvändning
Energieffektiva hus	Uppströms vs nedströms påverkan	Uppströms vs nedströms påverkan, hotspots	Uppströms vs nedströms påverkan
-	Bokföring	Bokföring	Bokföring
ENSLIC	Anavitor	Anavitor	Anavitor
Generisk. Ecoinvent, EcoEffect, BEAT, IVL, elföretag	Blandat. IVL Miljödatabas Bygg, EPD, ICE, KBOB, Ecoinvent	Blandat. IVL Miljödatabas Bygg, EPD	Blandat. IVL Miljödatabas Bygg, EPD
Data redovisas	Mestadels, inte alla beräkningar	Mestadels, inte alla beräkningar	Mestadels, inte alla beräkningar
Ökat intresse för energieffektiva hus ökar medvetenheten om påverkan från material. Husets livstid i en studie påverkar resultatet stort. Med en lång livstid verkar påverkan från material liten, men är den det eller är det påverkan från driften som är stor? Efter 100 år är den totala påverkan från den altererade byggnaden i studien halverad från den ursprungliga och andelen från material är över 50 %. Det saknas bra verktyg och EPD:er för LCA i designfasen, men uppskattningar kan ge bra indikationer på konsekvenser från olika konstruktionsalternativ.	Uppströms och nedströms klimatpåverkan är i samma storleksordning (i studien). Materialproduktion och drift står för störst klimatpåverkan under livscykeln. Lätta utfackningsväggar av trä minskar uppströms klimatpåverkan med 15 %. Det är alltid viktigt med energieffektiva klimatskal. Analysperioden har stor betydelse. Viktiga åtgärder är t.ex. minskat materialsvinn, energieffektiva maskiner, förnybara bränslen, energieffektiva byggbodnar.	Byggnades klimatpåverkan: 700 kg co2ekv./m2Atemp. Byggprocessen: 265 kg co2ekv./m2Atemp (38 %). Scenario med låg andel fossila bränslen: byggprocessen står för 62 % av klimatpåverkan. Garage i betong har stor betydelse. Utan det är påverkan från byggprocessen 161 kg co2ekv./m2 Atemp. Jmf. med Blå jungfrun är klimatpåverkan då mer än en halvering. Går att minska energibehovet utan att höja byggprocessens utsläpp -> energieffektiva byggnader viktigt. Både i produkt- och driftskede finns stora potentialer till minskad klimatpåverkan. Trästomme ger mindre påverkan än betongstomme. Markförstärkningsåtgärder ger hög påverkan, trähus är lättare än betong, alltså mindre åtgärder vilket ger lägre påverkan.	Studier bör följa standarden för att kunna jämföras med andra. Ökad betydelse av uppströms klimatpåverkan i förhållande till driftens energianvändning nedströms. Finns anledning att börja utreda regler kring miljöpåverkan och resursanvändning i byggregler. Miljöbyggnads vidareutveckling bör beröra låg påverkan från byggprocessen. Det saknas idag underlag för att ta fram jämförelsetal, t.ex. kg CO2ekv./m2 eller person för inbyggd klimatpåverkan. Man bör därför börja dokumentera och redovisa materialanvändning och klimatpåverkan mer rutinmässigt. I tidiga planeringsskeden är omfattande LCA inte möjligt utan andra mjukvaror behövs.

Carbon balances for a low energy apartment building with different structural frame materials	Decreasing the carbon footprint of energy efficient buildings, what comes next?	En jämförelsestudie av koldioxidutsläpp för en byggnad med trä- respektive betongstomme ur ett livscykelerspektiv	Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study
(Tettey et al., 2019)	(Peñaloza et al., 2013)	(Rautio and Johansson, 2010)	(Sinha et al., 2016)
Energy Procedia	Passivhus Norden, SP Technical Institute of Sweden	Högskolan i Gävle	Building and Environment
Linnéuniversitetet		Bjerkning	
Artikel	Konferensbidrag (poster)	Examensarbete grundnivå	Artikel
Jämföra kolbalansen (icke-biogen kol) för tre passivhus med tre olika stommaterial. Prefab betong, prefab "modular timber", "cross laminated timber" (CLT)	Utforska olika delar av livscykelns bidrag till lågenergibyggnaders koldioxidavtryck. Och hur bio-material kan vara ett alternativ för att minska koldioxidutsläpp inom byggsektorn.	Jämföra koldioxidutsläpp vid produktion av ett hus med trä- resp. betongstomme.	Testar verktyget ELP-s genom att beräkna energiavtryck och koldioxidavtryck på två referensbyggnader, en med trästomme och en med betongstomme. Jämför med verktygen GaBi och SimaPro.
Lägenhetshus 6 vån	Flerbostadshus	Flerbostadshus 8 vån	ej angett typ
m ² A _{temp} , 80 år	m ² boendyta	hus	m ²
Cradle to grave	Cradle to grave. A1-3, A4, B6, C1-4	Cradle to gate + transport till byggplats. Endast byggdelar som skiljer husen åt inkluderas.	Konstruktion
Klimatpåverkan	Klimatpåverkan	Klimat, endast koldioxid.	Energiavtryck, koldioxidavtryck
Prefab betong, prefab "modular timber", "cross laminated timber" (CLT)	Trä vs. betong	Trästomme vs. betongstomme	ELP-s vs. GaBi och SimaPro. Trä vs. Betong
Jämförande	-	Jämförande	-
VIP-energy, ENSYST	Ej angivet	Sunda hus	ELP-s, GaBi, SimaPro
Ej angivet	SPs databas, EPD:er, litteratur, Ecoinvent	Blandat	Generisk
Nej	Nej	I appendix	Nej
Betongbyggnaden har större utsläpp av koldioxid från produktionsfasen än de andra två. Vilken energikälla som används påverkar koldioxidutsläppen. Lågenergibyggnader med trästomme och effektiv energiförsörjning kan vara viktiga för hållbart byggande.	Produktion och end-of-life är viktigt för energieffektiv design. Trä och andra biomaterial kan minska koldioxidavtrycket ytterligare för energieffektiva byggnader. Driftfasen dominerar koldioxidavtrycket på grund av energiförbrukningen. Ökningen av påverkan från driftfasen är liten jämfört med minskningen från driftfasen om man jämför konventionell design med passivhus. Mineralbaserade och fossila material bidrar mer till koldioxidavtrycket från produktion än trä.	Byggnaden med trästomme har 15 % lägre koldioxidutsläpp jämfört med objektet med betongstomme. Råvaruutvinningen av betong hade störst påverkan för objektet med betongstomme. Tillverkning av stenullsisolering hade störst påverkan för objektet med trästomme. En platsbyggd trästomme med mineralull istället för stenull skulle ge ett mycket lägre utsläpp av koldioxid jämfört med en helgjuten betongstomme. Den ändringen skulle ge ännu större skäl till att välja en trästomme.	Träbyggnaden har ett lägre miljöavtryck än betongbyggnaden. ELP-s baseras på materialproduktion i Sverige. Datan i SimaPro är europeiskt medel. Detta ger ett större avtryck när SimaPro och GaBi används eftersom växthusgasutsläppen per energienhet är lägre i svensk elmix. Viktigt att använda kommersiella verktyg medvetet och försiktigt. Rekommenderas att LCA-studier fokuserar på projektspecifik data och använder en lämplig metod. Efter mindre modifieringar kan ELP-s användas för standardberäkningar.

Glued laminated timber and steel beams: A comparative study of structural design, economic and environmental consequences	Integrering av LCA och LCC i en multikriterieanalys : Optimering av byggnadsdelar	Jämförande livscykelanalys av motsvarande tegel- och träkonstruktioner	Jämförelse mellan två fasadbeklädnader : En hållbarhetsanalys med fokus på livscykelanalys, kostnadsanalys samt sociala aspekter
(Hassan and Johansson, 2018)	(Lunnergård and Nilsson, 2018)	(Viborg and Lidström, 2014)	(Ceu, 2016)
Journal of Engineering, Design and Technology	Högskolan i Jönköping	KTH	Högskolan i Borås
	-	Tomas Gustavsson Konstruktioner AB	Temporent AB, Flexator AB
Artikel	Examensarbete grundnivå	Examensarbete grundnivå	Examensarbete avancerad nivå
Jämför koldioxidutläpp från glulambjälkar och stålbjälkar	Testa en konceptmodell som integrerar miljöbelastning och kostnader under en hel livscykel för att kunna optimera val av byggnadsdel. (I det här fallet fasad)	"Syftet med studien är att jämföra hur ett typhus med tegel som stommaterial belastar miljön ur ett livscykelperspektiv, jämfört med ett motsvarande typhus med trästomme."	Bedöma hållbarhet på en fasad av fibercementskiva och en fasad av brandimpregnerat träpanel. Miljömässig hållbarhet är en av flera faktorer.
Bjälke	Ej angett	Typhus småhus	Fasadbeklädnad
meter eller kg bjälke	m ² fasad	hus, 100 år	m ² fasadbeklädad
Konstruktion	Inte helt uppenbart men antagligen cradle to grave, ev. är avfallshantering exkl.	Materialframställning, produktion, drift	Gate to gate, produktion inkl. transport till byggsplats
Klimatpåverkan (GWP)	Koldioxid, ozonnedbrytande ämnen [CFC-11-ekv.], ej förnybar primärenergi [MJ]	Klimatpåverkan	ReCiPe
Trä vs. stål	Tegelfasad, putsfasad, träfasad.	Tegelstomme vs. trästomme	Trä vs. betong
-	Ej angett. (Tre bokföring som jämförs)	Jämförande	-
Ej angivet	Anavitor	Anavitor	SimaPro, ReCiPe
Ej angivet	Generisk	Generisk	Generisk
Nej	Beräkningar redovisas men ej alla och ej all data. Beräkningar i Anavitor redovisas ej.	Delresultat. Beräkningar och inparametrar i programvara redovisas i appendix	Nej. Allt har skett i SimaPro, inget redovisas
Glulam-bjälkar har större ekonomiska och miljömässiga fördelar än stålbjälkar. Kan behövas större dimensioner vid långa bjälkar vid användande av glulam. Klimatpåvekan från stålbjälkar blir mycket mindre om stålet återvinns efter rivning. Studien gäller i Sverige eftersom tillgången på skog varierar i olika länder och beräkningar baseras på den svenska marknaden.	Det går relativt enkelt att kvantifiera kostnads- och miljöbelastning vid byggnadsprojektering. LCA och LCC är tämligen enkla att genomföra på en byggnadsdel i tidiga skeden om schablonvärden och BIM-modell används. COPRAS rekommenderas som verktyg för multikriterieanalys. Det är brist på krav från beställare hindrar användningen av LCA och LCC, inte tekniken.	Småhus i tegel äre miljömässigt jämförbart med ett trähus. Det är dessutom ett säkrare alternativ med tanke på risken för fuktskador. Efter 168 år är tegelhuset ett miljövänligare alternativ än trähuset. Det är lämpligt att utföra bärande tegelkonstruktioner i framtidens småhusbyggande.	Ur miljösynpunkt är brandimpregnerad träpanel bättre än fibercementskiva. Den har också lägre inköpskostnader. Räknas andra faktorer in som kostnad för installation och underhåll blir de totala kostnaderna högre för träpanelen. Arbetsmiljön vid montage är bättre för träpanelen. En mer omfattande undersökning bör utföras med osäkerhetsanalys och känslighetsanalys.

Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden	Life cycle assessment of the semidetached passive house "Röda lyktan" in northern Sweden : A comparison between the construction phase and the use phase	Life cycle primary energy analysis of residential buildings	Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building
(Petrovic et al., 2019)	(Svensson, 2013)	(Gustavsson and Joelsson, 2010)	(Gustavsson et al., 2010)
Energy Procedia	Mittuniversitetet	Energy and Buildings	Energy and Buildings
Högskolan i Dalarna, Högskolan i Gävle	-		Mittuniversitetet
Konferensartikel	Examensarbete grundnivå	Artikel	Artikel
Utvärdera miljöpåverkan från olika byggmaterial samt beräkna vilka som har mest betydande påverkan inom olika miljöpåverkanskategorier	Jämför konstruktionsfasen med driftsfasen. Undersöka vilka material som har stor påverkan.	Beräkna primärenergianvändning och utifrån det koldioxidutsläpp för 11 fallstudiehus.	Analysera primärenergi och kolflöde för en lägenhetsbyggnad med trästomme.
Villa	Parhus, passivhus	11 fallstudiehus, villa, radhus, lägenhetshus	Lägenhetshus
m ² under 100 år alt. m ² och år	hus, 50 år	m ² A _{temp}	m ² , 50 och 100 år
Cradle to grave. A1-4, B1-5, C1-4	Gradle to grave, exkl. rivning och avfall	Produktion och drift	Cradle to grave
Klimatpåverkan (GWP), försurning, övergödning, ozonnedbrytning (ODP), marknära ozon	Klimatpåverkan, kumulativt energibehov, ekotoxicitet, human icke-/cancerogen toxicitet, total human toxicitet	Klimatpåverkan, primärenergi	Primärenergi [kWh], klimatpåverkan från koldioxidutsläpp [kg CO ₂]
Material bl.a. olika typer av betong och trä	Konstruktion och produktion vs. drift	-	Trästomme
-	Ej angivet. (Bokföring)	Jämförande	Ej angivet. (Bokföring)
One Click LCA	Ej angivet	ENSYST	Ej angivet
Generisk. One Click LCA	En del specifik, resten generisk från Ecoinvent	Generisk	Estimerad/generisk
Nej	Delresultat, ej alla beräkningar och data	Nej	Beräkningar och en del data
"Concrete slab" och värmebehandlat trä har störst påverkan på miljön. Trästomme och cellulosaisolering har minst påverkan. Viktigt att ta med flera miljöpåverkanskategorier, i det här fallet AP, EP, ODP, marknära ozon. Grunden har störst klimatpåverkan (GWP).	Jämför man konstruktion och drift har driftsfasen störst påverkan gällande GWP, CED, ecotoxicitet, human icke-cancerogen toxicitet, total human toxicitet. Konstruktionsfasen har mest påverka på human cancerogen toxicitet. Konstruktionsfasen blir viktigare när byggnader blir mer energieffektiva och mer förnybarenergi används. I framtiden bör FTX-ventilation, vissa isoleringsmaterial (främst cellplast och stenull), vissa metaller, glulam och "wood fiber boards" bör om möjligt väljas bort.	Lågenergibygnaderna hade en högre primärenergiförbrukning för produktionen än konventionella byggnader. Viktigt att ta med både produktion och drift vid minimering av primärenergiförbrukning. Hus med trästomme och låg energiförbrukning i driftskedet tillsammans med energieffektiva och biobaserade energiförsörjningssystem resulterade i lågt primärenergibehov och lite koldioxidutsläpp. Typ av elförsörjning har större effekt på primäreneribehovet än energieffektiviseringsåtgärder på klimatskalet. "District heating" minskar primärenergibehovet. För att optimera energibehovet för en byggnad bör man studera både byggnaden och energiförsörjningen.	Mer energi kan erhållas från rester från träproduktionen än som behövs för att producera byggnaden. Val av uppvärmningsmetod spelar stor roll för primärenergien och koldioxidutsläppen. Fjärrvärme och värmepumpar kräver lite primärenergi. Det är viktigt att ha med både material- och energiåtgång i bedömningen av primärenergibehov och klimatpåverkan. Ju mer energisnål uppvärmning och elförsörjning blir desto viktigare blir de andra delarna i livscykelns.

Life cycle primary energy use and carbon footprint of wood-frame conventional and passive houses with biomass-based energy supply	Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems	Livscykelanalys och livscykelkostnadsanalys av nyckelfärdiga flerbostadshus : En jämförelse mellan betong- och träkonstruktion	Livscykelanalys på stommaterial - En jämförande livscykelanalys med fokus på koldioxidutsläpp och energianvändning
(Dodoo and Gustavsson, 2013)	(Dodoo et al., 2014)	(Lydell and Larsson, 2018)	(Lundgren and Westbom, 2018)
Applied Energy	Energy and Buildings	Linköpingsuniversitet	Örebro universitet
Linnéuniversitetet	Linnéuniversitetet	Stångåsstaden AB	NA Bygg
Artikel	Artikel	Examensarbete avancerad nivå	Examensarbete grundnivå
Jämföra primärenergiförbrukning och koldioxidavtryck för ett konventionellt hus och ett passivhus. Båda har trästomme. Olika sätt att värma upp husen jämförs.	Undersöka koldioxidavtryck från lågenergihus och konventionella hus med tre olika trä-byggsystem.	"Studiens syfte grundades i att jämföra miljöpåverkan mellan att bygga ett flerbostadshus i betong eller trä. Fokus riktades därför till att jämföra byggnadernas konstruktionsmaterial."	Jämföra miljöpåverkan från två stommar i befintliga hus, en trästomme och en betongstomme.
Lägenhetshus 4 vån	Lägenhetshus 4 vån	Lägenhetshus	Lägenhetshus 6 vån
m ² , 50 år	m ² boendeyta, 50 år	m ² A _{temp} , 50 år	m ²
Cradle to grave	Cradle to grave	Cradle to grave, exkl. avfall.	Cradle to gate + transport till byggsplats. A1-A4
Primärenergi, koldioxidavtryck	Koldioxidavtryck (GWP)	Försurning, övergödning, klimat, fotokemisk oxidation, ozonlagernedbrytning, abiotisk utarmning	Klimatpåverkan [CO ₂ -ekv.], energianvändning [MJ]
Passivhus vs. ej passiv. Eluppvärmt/värmepump/"district	Passivhus vs. ej passiv. Tre olika byggsystem.	Trästomme vs. Betongstomme	Trä vs. betong
Ej angivet	Konsekvens	Jämförande	-
VIP+, ENSYST	VIP+, BESTEST, ENSYST	SimaPro	Ej angivet
Blandat. Sekundära projektspecifika och generiska	Blandat. Sekundära projektspecifika och generiska	Generisk, Ecoinvent/SimaPro	Så långt som möjligt projektspecifik data från EPD och BVD. Annars motsvarande så nära som möjligt.
En del, inte var all data kommer från och inte alla beräkningar	Till stor del, inte var all data kommer från och inte alla beräkningar	Ja	Ja
Val av uppvärmningsmetod är lika viktigt som passivhusteknik. Ett passivhus med "district heating" har ett betydligt lägre primärenergiebehov och lägre koldioxidavtryck än en konventionell byggnad som är eluppvärmd. Livscykelperspektiv rörande produktion, konstruktion, drift, end-of-life och energiförsörjning behövs för att utvärdera primärenergiebehov och klimatpåverkan av den bebyggda miljön.	Det är viktigt att ta med hela livscykeln. Effektiv uppvärmning och energieffektiva byggnader minskar klimatpåverkan. Koldioxidpåverkan från driften av byggnader med bergvärme är större än från ett hus med fjärrvärme, valet påverkar byggnadens klimatpåverkan stort. CLT lågenergihuset har lägst koldioxidutsläpp över hela livscykeln. "Beam-and-column" konventionella huset har mest. Produktionen utgör den största delen av koldioxidutsläppet över hela livscykeln. Transpotavstånd spelar mindre roll. Trähus kan markant minska koldioxidutsläppen. Måste dock tänka på byggkrav, akustik, brand och fukt bla.	Betonghuset har lägre påverkan i kategorierna: försurning, övergödning, fotokemisk oxidation, nedbrytning av ozon, abiotisk utarmning av metaller, fossila bränslen. Trähuset har lägre påverkan på global uppvärmning i absoluta tal. Per A _{temp} blir resultatet det omvända. Modul A bidrar med mest påverkan inom: försurning, fotokemisk oxidation, abiotisk utarmning av metaller och fossila bränslen. Modul C bidrar med mest påverkan inom: övergödning, global uppvärmning och ozonlagernedbrytning. Trähuset är 20 % dyrare än betonghuset under analysperioden 50 år. Organisationens bristfälliga kunskap om sin produktionskedja försvårar datainsamling till LCA.	Produktion av betongstommen har mindre klimatpåverkan (GWP) och förbrukar mindre energi än för trästommen. I trästommen förbrukade materialet kerto-Q mest energi och flytpackel bidrog till mest klimatpåverkan. För betongstommen var motsvarande material betong för både energiförbrukning och klimatpåverkan.

Livscykelstudie av kontor med kombinerad betong- och träkonstruktion	Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus - LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport.	Sustainability of Reinforcement Alternatives for Concrete	The Environmental Potential of Hybrid Load Bearing Systems A Life Cycle Assessment of a Skanska Residential Reference House
(Ylmén et al., 2018)	(Malmqvist et al., 2018)	(Williams Portal et al., 2014)	(Brandt and Sonesson, 2017)
RISE	Sveriges byggindustrier	Proceedings of the Concrete Innovation Conference 2014 – CIC 2014	Chalmers tekniska högskola
-	-		Skanska
Rapport	Rapport	Konferensartikel	Examensarbete avancerad nivå
"...analysera den långsiktiga miljöpåverkan av olika byggnadsmetoder med alternativa projekterings- och produktionsalternativ samt materialval och byggsystem." Identifiera hotspots	"...studera klimatpåverkan under hela livscykeln för fem konstruktionslösningar för flerbostadshus som förekommer på den svenska marknaden idag. ..." och "...undersöka om det finns möjligheter med känd teknik att göra klimatförbättrande åtgärder."	Jämföra miljöpåverkan från konventionell betong och betong förstärkt med alternativa metoder (Textile reinforced concrete (TRC))	Identifiera möjliga hybridstommar av trä och betong och kartlägga deras miljömässiga potential gällande klimatförändringar.
Kontor	Lägenhetshus (Blå jungfrun)	Betong	Lägenhetshus 5 vån
m ² A _{temp} i 50 år som uppfyller BBR	m ² A _{temp} , 50 år	m ² förstärkt betong	m ² , 50 år
A1-5, B4, B6, C1-4	A1-5, B1, B2, B4, B6, C1-4	Cradle to gate	Cradle to grave. A1-5, B2, B4, B6, C1-4. Fokus på produktion
Klimatpåverkan, övergödning, försurning, ozonnedbrytning, bildning av fotooxidanter	Klimatpåverkan (GWP)	Klimatpåverkan, ODP, human toxicity, abiotic depletion, försurning, ekototoxicitet, fotokemisk oxidation	Klimatpåverkan
Trä vs. betong	Fem olika byggsystem i betong och trä	Stål vs. fiber (glass fiber, carbon fiber, basalt fiber)	Trä vs. betong i olika grader av hybrid
-	Bokföring	-	Ej angivet. (Konsekvens)
Ej angivet	Anavitor, Byggsystem Miljöberäkningsverktyg	SimaPro, (IMPACT 2002+, IPCC GWP, CML 2001)	SPIK, Anavitor, Karaktäriseringsmetod: GWP
Mestadels projektspecifik, annars Ecoinvent och ILCD	Båda	Generisk, Ecoinvent, ELCD	Generisk, SPIK, IVL
Ja	Delvis	Nej	Ja
Energianvändning och produktion har stor påverkan. Materialen i VVS-systemet har en markant påverkan i samtliga fem undersökta miljöpåverkanskategorier. Utveckling av metoder för data för användarfasen och metodik vid jämförelse mellan alternativ behövs. Fokus för betong bör vara att minska emissioner från stål i produktionen. För trä bör man fokusera på användarfasen och sluthanteringen. Mycket av utsläppet från träkonstruktionen kommer från andra material än trä som behövs för att uppfylla byggnadskraven.	Byggskedet står för en betydande andel av nybyggda flerbostadshus klimatpåverkan sett över hela livscykeln. I modul A1-A3 har betong generellt en högre klimatpåverkan. Betong har potential med nya bindemedel. Specifika leverantörsväl vid andra material som isolering och armering kan minska klimatpåverkan. Det finns stora potentialer att minska klimatpåverkan från byggskedet. Klimatkrav bör ställas så tidigt som möjligt. Viktigt att välja komponenter med lång livslängd.	TRC är mer resurseffektivt särskilt i fasader. CED är mindre för TRC eftersom det med den armeringen krävs mindre mängd betong. TRC har också mindre miljöpåverkan. Den ekologiska påverkan från TRC måste undersökas mer. Få med alla livscykel-faser för byggmaterial i LCA skulle kunna ge en bättre bild av de ekologiska konsekvenserna.	Det finns ett tydligt samband mellan minskad mängd betong och minskad GWP. Vid byte av betong mot CLT har det störts effekt i väggar mellan lägenheter. 95-98 procent av byggnadens vikt utgjordes av 11 kategorier av de tyngsta materialen. De 1 grupperna stod för 64-75 procent av GWP för produktionen. Transporter av CLT-produkter kan ha stor andel av de totala utsläppen i produktionskedet om de inte produceras nära byggplatsen.

The importance of including secondary effects when defining the system boundary with life cycle perspective: Case study for design of an external wall	The influence of secondary effects on global warming and cost optimization of insulation in the building envelope	Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change
(Ylmén et al., 2017a)	(Ylmén et al., 2017b)	(Sathre and Gustavsson, 2009)
Journal of Cleaner Production	Building and Environment	Applied Energy
Artikel	Artikel	Artikel
Utvärdera betydelsen av korrekt systemgränser genom en fallstudie av ytterväggsisolering.	Visa på betydelsen av att inkludera sekundära effekter av designval.	Undersöker hur trä kan användas för att "mitigate climate change" genom att jämföra en byggnad med trästomme och betongstomme
Lägenhetshus	Lägenhetshus	Lägenhetshus
m ² A _{temp} under 50 år	m ² A _{temp} under 50 år	hus
Produktion	A1-5, B1-7, C1-4	Produktion och rivning
Klimatpåverkan	Klimatpåverkan (GWP)	Klimatpåverkan (GWP), energiförbrukning
-	-	Trä vs. betong
Konsekvens	-	Jämförande
ECE, SimaPro, EnergyPlus, Therm7.3, Heat 3, Sektionsdata	ECE, SimaPro, Energyplus	-
Generisk, Ecoinvent	Specifika eller liknande EDP:er så långt möjligt, därefter Ecoinvent och Sektionsdata	Tidigare studier, projektspecifik, elleverantörer
Nej	Nej	Delvis
Studien visar på den miljömässiga och ekonomiska betydelsen av att ta hänsyn till sekundära effekter vid produktval. Hade inte sekundära effekter inkluderats i denna studie hade nästan hälften av miljöpåverkan och en tredjedel av produktionskostnaden missats.	Det viktigaste resultatet är att sekundära effekter påverkar systemgränser, beräkningsmetoder, resultat och slutsatser kring optimal design. Görs en optimering med hänsyn till sekundära effekter kommer den endast stämma för det specifika projektet. Generella optimeringar går inte att göra. Fortsätter trenden med energieffektiva byggnader och icke-fossila energikällor kommer minskning av klimatpåverkan från produktionsprocessen bli viktig för att energieffektivisering inte ska bli kontraproduktiv.	Produktion av material till träbyggnaden förbrukar 28 % mindre primär energi och släpper ut 45 % mindre koldioxid än produktion av material till betongbyggnaden.

