



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 20019

Examensarbete 15 hp  
Maj 2020

# Kvantifiering av växthusgasutsläpp från en byggnad under byggskedet

---

Vincent Carlford

# Referat

## Kvantifiering av växthusgasutsläpp från en byggnad under byggskedet

*Vincent Carlffjord*

Sverige ska år 2045 nå noll nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären enligt det klimatpolitiska ramverket som riksdagen antog år 2017. För att det ska lyckas så krävs bland annat att bygg- och fastighetsbranschen, som står för ungefär en femtedel av Sveriges territoriella växthusgasutsläpp årligen, minimerar sina utsläpp. Ett steg på vägen till att eliminera växthusgasutsläppen är att börja kartlägga dem och därför träder år 2022 en ny lag i kraft som ålägger byggherren att utföra klimatdeklarationer på alla nya byggnader som uppförs.

Den här studien har undersökt hur och när i byggprocessen klimatberäkningar av planerade byggnader bör utföras för att komma till så stor nytta som möjligt. Vidare undersökte studien materialval och utsläppsallokering i syfte att kunna minska utsläppen av växthusgaser under byggprocessen. En byggnadsinformationsmodell (BIM-modell) skapades av en undevisningsbyggnad som är planerad att byggas, vilken fungerade som projektets fallstudie. BIM-modellen importerades i ett kalkylprogram för att där kunna skapa tre olika versioner av byggnaden med tre vanligt förekommande stommaterial; trä, betong respektive stål. En resurssammanställning med de undersökta byggdelarna och tillhörande mängder producerades och exporterades för varje modell. Resurssammanställningarna importerades i ett klimatberäkningsprogram, baserat på Livscykelanalys (LCA), för att manuellt koppla samman byggresurserna med motsvarande LCA-data. Generella spillvärden och transportscenarion lades in för varje byggresurs.

Resultaten visade att modellen med trästomme släppte ut 28 % mindre koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>e) än modellen med betongstomme och 22 % mindre än modellen med stålstomme. Trästommen i sig genererade ett 54 % mindre utsläpp av växthusgaser än betongstommen och 45 % mindre än vad stålstommen gjorde. Platsgjuten betong och isolering var de två resursgrupper som orsakade störst klimatpåverkan i fem av sex fall. Produktionen av byggdelarna orsakade 88–90 % av det totala klimatavtrycket för alla tre modeller. Transport av byggdelarna till byggarbetsplatsen och materialspill på byggarbetsplatsen orsakade båda mellan 4–6 % av klimatpåverkan i samtliga modeller.

Studien fann även att klimatberäkningarna bör utföras när den översiktliga arkitekturmodellen av byggnaden tas fram för att beräkningarna ska kunna fungera som beslutsunderlag i projekteringen då val av utformning och konstruktionsval sker. Priset för klimatberäkningarna i ett tidigt skede i byggprocessen är lågt på grund av att BIM-modellen är förhållandevis enkel vilket gör att beräkningarna går snabbt. Om klimatberäkningarna sker i ett senare skede av byggprocessen blir resultatet mer tillförlitligt men priset för beräkningarna ökar. Dessutom är det svårare och mycket dyrare att utföra förändringar i ett senare skede. Alltså är sannolikheten stor att klimatberäkningarna inte kommer nyttjas i några beslut och de traditionella lösningarna väljs.

**Nyckelord:** BIM, BM, byggnader, EN 15804, EN 15978, hållbar utveckling, klimatberäkning, klimatdeklaration, koldioxidekvivalenter, LCA, materialval, VICO, växthusgas

# Abstract

## Quantification of greenhouse gas emissions caused by construction of a new building

*Vincent Carlffjord*

According to the national climate policy framework adopted by Riksdagen (the Swedish parliament) 2017, Sweden should reach zero net emissions of greenhouse gases in 2045. For this to be successful, the construction and real estate industry, which annually accounts for one fifth of Sweden's territorial greenhouse gas emissions, needs to minimize its emissions. One step towards reducing the emissions is to track and quantify them and that is why in 2022 a new law will come in to force that requires the developer to make climate declarations on all new buildings.

This study has investigated how and when climate calculations of planned buildings should be carried out in order to be as beneficial as possible. Furthermore, the study examined material choices and emission allocation in order to reduce greenhouse gas emissions caused by the construction process. A building information model (BIM model) of an educational building which is planned to be built, served as a case study for this project. The BIM model was imported to a spreadsheet program in order to create three different versions of the building in three common framing materials; wood, concrete and steel. A list of all used building components, construction resources and associated quantities was produced and exported for each model. The list was imported to a climate calculation tool, based on Life Cycle Assessment (LCA), to manually link the construction resources with their corresponding LCA data. General waste fractions and general transport scenarios were entered for each construction resource.

The results showed that the wooden frame model emitted 28 % less carbon dioxide equivalents (CO<sub>2</sub>e) than the concrete frame model and 22 % less than the steel frame model. The wood frame itself generated a 54 % less greenhouse gas emissions than the concrete frame and 45 % less than the steel frame. Concrete and insulation were the two resource groups that caused the greatest climate impact in five out of six cases. The production of the building components caused 88–90 % of the total climate footprint for all three models. Transport of the building components to the construction site and resource waste at the construction site both caused between 4–6 % of the climate impact in all models.

The study also found that the climate calculations should be carried out as soon as the general architectural model of the building is created, in order for the calculations to serve as a decision basis in the project planning where design choices are made. The price for the climate calculations at an early stage in the construction process is low because the BIM model is relatively simple and therefore the calculations are not time-consuming. If the climate calculations occur at a later stage of the construction process, the emission figures become more accurate, but the price for the calculations increases. In addition, it is more difficult and much more expensive to make changes at a later stage. Thus, the probability is that the climate calculations will not be used in any decision.

**Nyckelord:** BIM, BM, buildings, carbon dioxide equivalents, climate calculation, climate declaration, construction, EN 15804, EN 15978, greenhouse gases, LCA, material choices, sustainable development

## Förord

Denna studie har genomförts som ett examensarbete och är den avslutande delen i Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och utfördes under 20 veckor på företaget Norconsult.Handledare var Emelie Danielsson på avdelningen Miljö & Säkerhet och Michael Englund på avdelningen Arkitektur. Ämnesgranskare på Uppsala universitet var David Lingfors vid institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik och examinator var Gabriele Messori vid institutionen för geovetenskaper.

Ett stort tack till Emelie, Michael och David för all stöttning och vägledning, er feedback och er pepp har varit till stor hjälp. Jag vill även tacka Elias Geokhaji för hjälpen med VICO vilket gav en toppenstart på arbetet. Sist vill jag tacka Maja Andersson för all uppmuntran och för att vår lägenhet fått fungera som mitt kontor under det här arbetet.

Vincent Carlfjord  
Uppsala, maj 2020

## Begreppsförklaring

**BIM** Building information modeling, byggnadsinformationsmodellering. Process där en digital 3D-representation av ett objekt skapas för att kunna nyttja och dela information med projektets intressenter genom dess livscykel.

**Arkitekturmodell** En modell av ett byggnadsobjekt. Den används för planering och presentation av en byggnad.

**BM 1.0** Byggsektorns miljöberäkningsverktyg. Framtaget av Svenska miljöinstitutet IVL för alla aktörer i branschen ska kunna producera en standardiserad klimatdeklaration med livscykelperspektiv.

**BREEAM** Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Världens mest använda miljöcertifieringssystem för byggnader.

**BSAB-koder** Akronym för Byggandets Samordning AB. Används för att kategorisera byggdelar och produktionsresultat.

**Byggdelsrecept** Byggs upp av ett flertal produktionsresultat som tillsammans bildar en byggdel.

**CAD** Computer Aided Design. Digital design och ritningsframtagande som används inom konstruktion och arkitektur bland annat för att skapa 3D-modeller.

**CO<sub>2</sub>e** Koldioxidequivivalenter. Mått på utsläpp av växthusgaser som tar hänsyn till att växthusgaser är olika kraftiga.

**EN 15978 - Hållbarhet hos byggnadsverk** Standard för LCA av byggnader som innehåller riktlinjer och beräkningsmetoder.

**EPD** Enviromental Product Declaration, miljövarudeklaration. Ett oberoende och verifierat dokument som gör det möjligt att jämföra produkter och tjänsters miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv.

**IFC** Industry Foundation Class. Öppet filformat som möjliggör överförandet av information mellan CAD-program och andra mjukvaror.

**ISO** International Organization for Standardization, internationella standardiseringsorganisationen. Internationellt standardiseringsorgan som tar fram standarder för produkter och tjänster.

**LEED** Leadership in Energy and Environmental Design. Det miljöcertifieringssystem för byggnader som finns i flest länder.

**LCA** Life Cycle Assessment, livscykelanalys. Kvantitativt verktyg för att bedöma en vara eller tjänsts miljöpåverkan genom dess livscykel.

**Miljöbyggnad** Miljöcertifieringssystem av byggnader. Ett av de vanligaste miljöcertifieringssystemen för byggnader i Sverige.

**ppm** Parts per million. Måttenhet.

**PCR** Product Category Rules, produktkategoriregler. Beskriver hur datan i EPD:er beräknas och redovisas.

**TTF** Task-technology fit. En teori som studerar användandet av en teknologi.

**Utsläpp** I rapporten används begreppet uteslutande om utsläpp av växthusgaser

## Populärvetenskaplig sammanfattning

Bygg och fastighetsbranschen i Sverige orsakar varje år ungefär en femtedel av de nationella växthusgasutsläppen. I takt med att byggnader blir allt mer energieffektiva i sin användningsfas, ökar andelen växthusgasutsläpp som byggprocessen orsakar då man ser till byggnadens hela livscykel. Därför läggs det nu mer fokus på att beräkna och minimera växthusgasutsläppen som orsakas under byggprocessen. För att kunna beräkna och jämföra växthusgasutsläppen krävs en vetenskapligt etablerad metod. Den metoden som användes i den här studien är globalt spridd och accepterad och kallas Livscykelanalys (LCA). Metoden följer ofta en produkts miljöpåverkan genom hela dess livscykel, alltså från råvaruutvinning för produktion tills det att produkten slängs eller återvinns. Vilka typer av miljöpåverkan som undersökt varierar och lika så vilka delar av livscykeln som innefattas. Den miljöpåverkan som undersöktes i den här studien är klimatpåverkan, från råvaruutvinning fram tills det att byggnaden står på plats, en omfattning som kallas ”vagga till grind”.

En planerad undervisningsbyggnad med närmare 3200 kvadratmeter golvyta fungerade som projektets fallstudie. Byggnaden valdes då byggprocessen är i ett tidigt skede och en byggnadsinformationsmodell (BIM-modell) av byggnaden hade skapats, men materialvalet för konstruktion av stommen ej hade skett. BIM-modellen innehöll information om byggdelenas geometrier, storlek, antal och relation till varandra. I den här studien undersöktes om och i så fall hur BIM- och LCA-verktyg kan användas till klimatberäkningar för att minska mängden växthusgaser som uppstår till följd av uppförandet av en byggnad. Studien försökte även finna vad i byggprocessen som orsakade de största växthusgasutsläppen och vilka byggnadsmaterial som skapade minst utsläpp av växthusgaser. Det sista som undersöktes var tidpunkten för klimatberäkningar i byggprocessen, det vill säga när beräkningarna skulle utföras för att vara till så stor nytta som möjligt.

För att uppfylla studiens syfte och besvara studiens frågeställningar, skapades tre versioner av byggnaden. De skapades genom att tilldela de digitala byggdelenas färdiga så kallade byggdelsrecept från ett omfattande receptregister. Byggdelsrecepten bestod av specifika resurser som olika typer av regler eller isolering, liksom ett matrecept. På så sätt kunde byggnaden återges i tre olika versioner med samma mått och mängder, men med olika byggnadsmaterial. En modell skapades med stomme av betong som hade mineralull som isolering, en modell skapades med trästomme och cellulosaisolering och en modell skapades med stålstomme och mineralullsisolering. Cellulosaisolering görs av återvunnet tidningspapper som i grunden kommer från träd och mineralull skapas av glas eller sten. De tre modellerna gav varsin resurssammanställning som är en lista med de ingående byggresurserna, alltså olika regler, betongtyper, byggskivor och allt annat som byggdelen består av. Resurssammanställningarna importerades i ett LCA-baserat klimatberäkningsverktyg så att varje byggresurs kunde tilldelas ett utsläppsvärde gällande växthusgaser. Det resulterade i att modellerna fick varsitt klimatavtryck som kunde jämföras.

Modellen med trästomme och cellulosaisolering genererade drygt en fjärdedel mindre utsläpp av växthusgaser än modellen med betongstomme och isolering av mineralull. Trämodellen genererade drygt en femtedel mindre växthusgaser än modellen med stålstomme och isolering av mineralull. Om vi ser till bara själva stommen, genererade trästommen knappt hälften av de växthusgasutsläpp betongstommen genererade och drygt hälften av växthusgasutsläppen stålstommen genererade. I två av modellerna var isolering och betong de byggresurser som genererade störst utsläpp av växthusgaser. I den tredje modellen var isolering och betong den största respektive tredje största källan till växthusgasutsläpp. När växthusgasutsläppen fördelades på olika delar av byggnadens livscykel visade resultaten att nio tiondelar av klimatpåverkan kom från produktionen av byggdelen i samtliga modeller.

I klimatberäkningsverktyget gick det att lägga till specifika värden för transporten av byggprodukter till byggarbetsplatsen. Det gick även att lägga till andelen av varje byggresurs som gick till spill. För att specifika transportvärden istället för generella scenarier ska kunna användas, krävs att byggprojektet fortskridit så pass långt att producenter och leverantörer av byggvarorna upphandlats. För att specifika spillvärden ska kunna användas istället för generella spillandelar krävs att byggdelen utformats. Det betyder att om klimatberäkningarna utförs då materialproducenter och leverantörer upphandlats, erhålls mer exakta utsläppsvärden för transportskedet i byggnadens livscykel. Om klimatberäkningarna utförs i ett stadie av projektet när byggnaden står på plats, kan exakta utsläppsvärden i alla stadier erhållas. Men exaktheten i beräkningarna kommer i utbyte mot att möjligheten till förändring minskat och att priset för förändringen kraftigt ökat. Klimatberäkningarna blir även dyrare ju mer avancerad modellen är eftersom detaljeringsgraden i modellen ökat, därför krävs mer arbete för att producera beräkningarna. Alltså bör klimatberäkningarna ske i

ett så tidigt skede som möjligt för att kunna fungera som ett beslutsunderlag i byggprocessen. Beräkningarna belyser utsläppsskillnader relaterade till materialval och produceras till ett lågt pris i ett tidigt skede. Om tid och kapital finns kan sedan beräkningarna uppdateras längs byggprocessens gång för att få ett sorts facit att jämföra de ursprungliga klimatberäkningarna mot, likt hur kostnadskalkyler vanligtvis görs flera gånger under byggprojektet. På så sätt byggs en kunskapsbank upp så att mer och mer exakta beräkningar kan produceras i ett tidigt skede av byggprocessen.

Fler studier skulle behövas som undersöker alternativa utformningar av byggnader och flera byggnadstyper. De skulle kunna indikera om slutsatserna ifrån den här studien är specifika för den här byggnaden eller om de går att tillämpa på andra byggnader. Studier som använder sig av andra klimatberäkningsverktyg, vilka baseras på annan LCA-standard än den som användes i den här studien, skulle även bidra till en säkrare bild av materialvalens effekt på klimatavtrycket. Detta då olika LCA-standarder hanterar bland annat kolflöden, som är centralt för studien, på olika sätt.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte . . . . .	1
1.2	Frågeställningar . . . . .	1
1.3	Avgränsningar . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>3</b>
2.1	Hållbar utveckling . . . . .	3
2.2	Klimatmål . . . . .	3
2.3	Hållbart byggande . . . . .	4
2.3.1	Certifieringssystem . . . . .	4
2.3.2	Materialval . . . . .	4
2.4	Byggprocessen . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Teori</b>	<b>8</b>
3.1	Livscykelanalys . . . . .	8
3.1.1	LCA av byggnader . . . . .	8
3.2	Building information modeling . . . . .	10
3.3	Task-technology fit . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Metod</b>	<b>13</b>
4.1	Modelleringsstudie . . . . .	13
4.2	Fallstudie . . . . .	14
4.2.1	Framtagande av resurssammanställning . . . . .	14
4.2.2	Framtagande av klimatdeklaration . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>17</b>
5.1	Betong . . . . .	17
5.2	Trä . . . . .	20
5.3	Stål . . . . .	21
5.4	Jämförelse . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>26</b>
6.1	Metodkritik . . . . .	28
6.2	Förslag till vidare studier . . . . .	29
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>30</b>
	<b>Referenser</b>	<b>31</b>



# 1 Inledning

I takt med att klimatförändringarna blir allt större ökar betydelsen av att alla delar i samhället jobbar mot att bli klimatneutrala. År 2019 hade CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfären nått 408 ppm, till följd av ökande antropogena växthusgasutsläpp, vilket var den högsta koncentrationen på ca 2,5 miljoner år (Bralower m. fl., 2020). År 2045 ska Sverige som nation nå noll nettoutsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket, 2019). För att det ska kunna ske krävs att alla branscher inom näringslivet gör sin del och ställer om till en klimatneutral verksamhet. Som en del i denna satsning för att bli klimatneutrala lanserade regeringen initiativet Fossilfritt Sverige, vilket utgör en plattform för kommuner, företag och andra aktörer som vill samverka för ett fossilfritt Sverige. Det är idag tretton olika branscher inklusive bygg- och anläggningssektorn som innefattar över 400 aktörer som utvecklat egna färdplaner för att nå en fossilfri värdekedja, alltså organisationer med helt fossilfria aktiviteter (Fossilfritt Sverige, 2018).

Bygg- och anläggningssektorn står för en femtedel av Sveriges territoriella utsläpp. Dessa utsläpp inkluderar produktionen i Sverige. Där utöver tillkommer utsläpp från importerade varor och tjänster. I takt med att byggnader blivit mer och mer effektiva i sin energianvändning står byggskedet för en ökande andel av de genererade utsläppen av byggnadens totala livscykel (Boverket, 2015). Ett passivhus enligt Forum för Energieffektivt Byggnad (FEBY) genererar ungefär lika mycket växthusgaser till följd av uppvärmning över 50 år som byggprocessen genererade vid uppförandet av byggnaden (IVA, 2014). Det har länge varit svårt att kvantifiera de växthusgasutsläpp som är relaterade till en byggnad i dess produktionsskede då ingen nationell standard funnits för beräkningarna. Det krävs att utsläppsberäkningarna görs i ett tidigt skede av projektet för att det i praktiken ska kunna tillämpas på ett effektivt sätt. Det krävs även en modell av byggnaden med de olika ingående materialerna samt en databas med de olika materialerna och deras utsläppsvärden för att slippa omarbete byggnadens utformning senare i projektet till höga kostnader och mycket mer arbete. År 2022 inträder ett lagkrav på att klimatdeklarationer skall göras för alla byggnader som uppförs (Finansdepartementet, 2019). För att skapa dessa klimatdeklarationer behövs miljövarudeklarationer, Environmental Product Declaration (EPD), för de ingående byggprodukterna. Dessa EPD:er är resultatet av livscykelanalyser (LCA:er) vilka görs med hjälp av information från en oberoende tredje part. De visar miljöpåverkan i ett antal kategorier, där ibland klimatpåverkan, av de ingående produkterna och tjänsterna i projektet. I framtiden skall materialtillverkare tillhandahålla EPD:er för alla byggprodukter de erbjuder (Naturvårdsverket, 2019).

## 1.1 Syfte

Den här studien ämnar undersöka hur de största utsläppsminskningarna av växthusgaser görs med hjälp av materialval under byggprocessen. Vidare ämnar projektet undersöka hur digitala byggnadsinformationsmodeller och LCA-verktyg kan användas vid uppförandet av en byggnad för att kartlägga växthusgasutsläppen ur ett livscykelperspektiv.

## 1.2 Frågeställningar

- Vilka materialval leder till den största utsläppsminskningen och vilka delar i byggnaden ger störst utsläppsminskning då ett lågemissions-alternativ valts?
- Kan digitala byggnadsinformationsmodeller och Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM 1.0) användas tillsammans för att minska mängden utsläppta koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>e) under byggskedet och i så fall hur?
- När i byggnadsprocessen bör modelleringen ske för att uppnå största möjliga utsläppsminskningar till minsta möjliga arbete?

## 1.3 Avgränsningar

Den första avgränsningen som gjordes var valet att endast studera miljöpåverkanskategorin klimatpåverkan. En annan avgränsning som gjordes tidigt var valet att begränsa studien till byggnader i Sverige, då lagkravet på klimatdeklaration gäller i Sverige samt studiens programvara är anpassade för den svenska marknaden. Byggnadens grund, stomme med isolering och tak valdes att studeras då de största utsläppsposterna vanligtvis finns där. Tre vanligt förekommande matreal för konstruktion av byggnadsstomme valdes att studeras. De stadier i byggprocessen som studeras är byggskedet, alltså A1 råvaruförsörjning - A5.1 Spill, emballage och avfallshantering enligt livscykelindelningen i standarden

EN 15978 - Hållbarhet hos byggnadsverk, se tabell 1. Det går i dagsläget inte att hantera information om senare livscykelkedan hos byggnader med klimatberäkningsverktyget som använts i studien.

## 2 Bakgrund

I det här kapitlet beskrivs förutsättningarna för projektet. Processer som hållbar utveckling, hur byggprocessen är uppbyggd och vilka förutsättningar som finns för att bedriva ett hållbart byggande i förhållande till nuvarande klimatmål och lagstiftning presenteras.

### 2.1 Hållbar utveckling

En av de tidigaste definitionerna av hållbar utveckling som fick internationell spridning kommer från Brundtlandkommissionen 1987 och lyder *"En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov"* (Keeble, 1988). Idag, år 2020, är en bredare definition av hållbar utveckling allmänt använd, vilken utgörs av tre dimensioner, ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet, där alla delar behövs för att en hållbar utveckling ska uppnås (Elkington, 1998; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015). De av statsöverhuvuden internationellt erkända principerna för hållbar utveckling som beslutades om 1992 på konferensen om miljö och utveckling i Rio de Janeiro, följer en nyckelprincip som lyder: *"The right to development must be fulfilled so as to equitably meet developmental and environmental needs of present and future generations"* (ibid.) Det finns även de som menar att den ursprungliga definitionen av hållbar utveckling från 1987 är förlegad, där ibland Cervantes (2013) som lyfter fram definitionen *"Sustainable development is the kind of development that uses the available capitals for the present generations without compromising the ability of future generations to use the same capitals"*.

Sambandet mellan hållbar utveckling och klimatförändringarna kan sammanfattas i tre punkter. För det första begränsar klimatförändringarna möjliga vägar för framtida utveckling och kraftiga klimatförändringar kan leda till att en hållbar framtid omöjliggörs (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015). För det andra finns målkonflikter mellan klimatåtgärder och breda utvecklingsmål då vissa klimatåtgärder kan medföra andra miljömässiga risker eller fördela resurser bort från andra utvecklingsprioriteringar eller på andra sätt begränsa tillväxt och utveckling. För det tredje så finns flera potentiella synergier mellan klimatåtgärder och breda utvecklingsmål (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015). Jormfeldt (2014) fann i en studie om ekonomisk tillväxt och attityder att sambandet mellan ekonomisk tillväxt och miljön är komplex men att en majoritet av det svenska folket skulle vara positiva till att prioritera miljöfrågor även om det innebar en lägre ekonomisk tillväxt. Brand (2010) menar att hållbar utveckling och miljökonflikter ofta åsidosatts i praktisk politisk så väl som i socialvetenskaplig forskning till följd av att fokus ofta ligger på ekonomisk tillväxt. Pravdić (2009) menar ur ett ekonomiskt perspektiv att framtidens väg mot framsteg inte går genom tillväxt utan utveckling, inte en ökning av genomströmning av varor och kapital utan en ökning av effektiviteten. Resonemang bygger på att den globala ekonomin vilken har begränsade naturresurser, har växt förbi det stadie där tillväxt är ekonomiskt. Det betyder att tillväxt nu är rent oekonomiskt.

### 2.2 Klimatmål

I juli 2014 kom ett meddelande, COM(2014) 445 - Om möjligheter till resurseffektivitet inom byggsektorn, från EU-kommissionen som beskrev möjligheter till att minska resursanvändningen inom byggsektorn (European Commission, 2014). I meddelandet belystes behovet av en gemensam europeisk strategi för att evaluera byggnaders miljöprestanda över hela deras livscykel (European Commission, 2014). För att detta ska vara möjligt krävs ett ramverk av centrala indikationer för bedömningen av en byggnads miljöprestanda (Boverket, 2015). EU-kommissionen utvecklade sådana indikatorer i ett projekt om resurseffektivitet inom byggsektorn som heter Level(s) (European Commission, 2017).

År 2017 antog Sveriges riksdag ett klimatpolitiskt ramverk med syfte att skapa en tydlig och långsiktig klimatpolitik. Ramverket antogs med bred majoritet och är en nyckelkomponent för att Sverige ska leva upp till sina åtaganden i Parisavtalet (Naturvårdsverket, 2019). Parisavtalet förhandlades fram och beslutades om vid COP21 i Paris år 2015 och är ett avtal mellan 194 länder som säger att länderna gemensamt ska sträva efter att sänka sina växthusgasutsläpp (Naturvårdsverket, 2020). Det klimatpolitiska ramverket består av en klimatlag, klimatmål och ett klimatpolitiskt råd. Klimatlagen började gälla 2018 och ålägger regeringen ett ansvar att bedriva en politik med utgångspunkt i klimatmålen (Klimatpolitiska rådet, 2020). Det långsiktiga målet är att senast 2045 nå noll nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären och därefter nå negativa utsläpp. Målet innebär att de territoriella utsläppen år 2045 ska vara 15 % av

år 1990:s utsläpp och att resterande procent ska uppnås med så kallade kompletterande åtgärder. Etappmål har även satts till år 2030 och år 2040. De motsvarar 36 % lägre växthusgasutsläpp respektive 75 % lägre växthusgasutsläpp i förhållande till år 1990 (Naturvårdsverket, 2019).

## 2.3 Hållbart byggande

Bygg- och fastighetssektorn står för en femtedel av Sveriges territoriella utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2015). Varje år genererar byggprocesser i Sverige 10 miljoner ton CO<sub>2</sub>e (mått på utsläpp av växthusgaser). Ungefär 4 miljoner ton av dessa härstammar från byggnader, resten från anläggningsarbeten (IVA, 2014). År 2045 har Sverige som mål att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket, 2019). För att klara målet har regeringen satt upp etappmål längs vägen och infört nya lagar som till exempel krav på klimatdeklaration vid uppförandet av en byggnad, som inträder i januari 2022 (Finansdepartementet, 2019).

Ungefär 10 % Wong m. fl. (2015) - 11 % Röck m. fl. (2020) av den globala energianvändningen går till tillverkning av byggnadsmaterial. Energianvändningen i driftfasen av byggnaders livscykel ger upphov till 30–40 % av de globala växthusgasutsläppen enligt Wong m. fl. (2015), medan Röck m. fl., 2020 fann att så mycket som 50–80 % av det totala klimatavtrycket härstammar från driftfasen. Globalt föreslås allt oftare förbättrad energi- och materialeffektivitet inom byggssektorn som ett billigt sätt att minska utsläppen (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015). Det har dock under senare år blivit tydligare att byggskedet står för en lika stor energianvändning som under användningsfasen (Wong m. fl., 2015). I Sverige har utsläppen från sektorerna bostäder och service minskat med 83 % sedan år 1990, mycket till följd av att oljeuppvärmning minskat och ersatts med biobränslen, fjärrvärme och värmepumpar. Dessa siffror avser drift- och rivningsfasen av byggnader och alltså inte byggskedet. (Boverket, 2015).

### 2.3.1 Certifieringssystem

I och med att efterfrågan på hållbara byggnader finns, krävs en metodik för att undersöka hur stort klimatavtryck en byggnad har. Som garanti för att en byggnad håller den standard den lovar finns certifieringssystem. Det finns flera etablerade certifieringssystem på marknaden idag, däribland Miljöbyggnad, LEED, BREEAM och GreenBuilding (Svensk byggtjänst, 2016). De tre förstnämnda certifieringssystemen kräver en LCA av byggnaden för att den ska kunna uppnå de högsta betygen (Boverket, 2015).

De frivilliga certifieringssystemen har haft en betydande roll för utvecklingen av klimatpåverkansberäkningar ur ett livscykelperspektiv i flera länder. De har även bidragit till att utöka EPD-databaser med produktsspecifik livscykelinformation. Dock skiljer sig certifieringssystemen bitvis mellan länderna och har varierande krav på LCA-beräkningarna. Certifieringarna kostar förhållandevis mycket pengar, vilket gör att mindre aktörer inte har den ekonomiska möjligheten att certifiera en byggnad (Boverket, 2015).

### 2.3.2 Materialval

Produktionen av byggnadsmaterial och andra byggprocesser i Sverige genererar 10 miljoner ton CO<sub>2</sub>e per år, vilket nästan är lika mycket klimatpåverkande utsläpp som genereras av användningen av alla svenska personbilar på ett år (IVA, 2014). I takt med att kraven på byggnaders minskade energianvändning har skärpts, har uppvärmning och energianvändning minskat, lika så växthusgasutsläppen. Samtidigt har växthusgasutsläppen från materialproduktionen och byggskedet förblivit lika stora. Detta gör att växthusgasutsläppen från uppvärmningen och driften av en modern byggnad under 50 år idag är lika stora som de växthusgasutsläpp vilka härstammar från byggnation och materialproduktion (Liljenström m. fl., 2015). Den mycket snabbare nedåtgående trenden för utsläppen genererade av uppvärmning visar att mer måste göras för att minska utsläppen från byggskedet för att Sverige ska nå noll nettoutsläpp av växthusgaser tills 2045 (M. Erlandsson, 2017). Redan idag finns teknik för att klimatpåverkan från bygg- och anläggningssektorn ska halveras. Den största delen av byggskedets klimatpåverkan kommer från produktionen av byggmaterial såsom stål och cement, ca 80 % (Liljenström m. fl., 2015). Byggande av bostäder med massiv trästomme istället för stomme av betong näst intill halverar klimatpåverkan (M. Larsson m. fl., 2016). Det finns även studier som visar på att betongens klimatpåverkan kan minska med mellan 40 % (M. Erlandsson, 2017) till 70 % med befintlig teknik i form av optimerade betongrecept och alternativa utformningar, det påverkar dock möjligheten till återanvändning av betongen (Svensk

Betong, 2017).

Vid jämförelse av byggnader med stommar av olika material är det viktigt att förstå att bara för att en stomme består av ett visst material betyder inte det att hela byggnaden består av det materialet. Byggnader med trästomme innehåller ofta ansevärliga mängder betong och byggnader med betongstomme innehåller ofta ansevärliga mängder trä i till exempel takkonstruktion. Det betyder att byte av konstruktionsmaterial i byggnader inte syftar till att helt ersätta ett material med ett annat. Det syftar till att gynna användningen av ett material framför ett annat i fall där båda materialen praktiskt lämpar sig (Gustavsson m. fl., 2006). Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) fann i sin andra bedömningsrapport att tillverkningen av träprodukter kräver mindre energi än tillverkningen av alternativa produkter (Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), 1996). The Consortium for Research on Renewable Industrial Materials (CORRIM) fann i en studie att det går åt 16 och 17 % mer energi för att skapa byggnader med betong- respektive stålstomme än en byggnad med trästomme. Studien fann även att CO<sub>2</sub>-utsläppen var lägre för hus med trästomme då träet lagrar kol i sin biomassa under tillväxtperioden samt då mindre fossila bränslen går åt i produktionen av byggmaterialen (Gustavsson m. fl., 2006). En studie av Börjesson m. fl. (2000), som jämförde växthusgasbalanser i husbyggande, fann att byggnader med trästomme genererade mindre CO<sub>2</sub>-utsläpp än byggnader med betongstomme, då rester av skog och sågverk såväl som rivningsavfall beaktades som ersättning för fossilt bränsle. Samma studie fann att produktionen av byggmaterial förbrukade 60–80 % mindre energi då en trästomme producerades jämfört med en betongstomme. Det ska tilläggas att nettoutsläppen av växthusgaser var starkt beroende av hur träet används efter demoleringen av byggnaden i slutet av byggnadens livscykel. Om allt trä lades som deponi för att förmultna så produceras metan (CH<sub>4</sub>) vilket höjde nettoutsläppen av växthusgaser betydligt (Börjesson m. fl., 2000).

År 2008 fick Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i uppdrag av regeringen att undersöka möjligheten till ökad skogsproduktion. Ca 50 forskare som representerade naturvetenskap, samhällsvetenskap, humaniora och skogsbruk rekryterades för att analysera potentiella risker och möjligheter med att öka skogsproduktionen i Sverige (Lidskog m. fl., 2013). Studien fann att förväntade fördelar med intensifierat skogsbruk var ökad produktion av råmaterial till energi och biodrivmedel och ökad lagring av kol i trädens biomassa. Studien fann även att intensifieringen av skogsbruket skulle leda till ökat näringsläckage till vattendrag, sjöar och hav. Vidare fann studien att intensifieringen skulle leda till förhållandevis stora negativa effekter på biodiversiteten samt negativa effekter på rekreation. Sammanfattningsvis fann forskarna på SLU att effekterna på klimatförändringarna troligen kommer att bli mycket positiva medan andra miljömässiga effekter blir negativa. De betonade även vikten av att skrida till handling direkt då signifikanta effekter dröjer ungefär 30 år på grund av trädens livsspann (S. Larsson m. fl., 2008). Den negativa effekten på biodiversiteten fann även Matthews m. fl. (2002) i en studie som undersökte biodiversiteten av fåglar i ett område med skogsbruk. En minskning med cirka 10–12 % av fågelarterna skedde till följd av skogsbruket. Larsson m. fl. (2011) fann i en studie att 10 % av Sveriges skogslevande arter var rödlistade och att anledningen till att tre fjärdedelar av de rödlistade skogsarter minskar var omvandlingen av kontinuitetsskogar, alltså skog som inte brukas, till produktionsskogar. Skogsvårdslagen (1979:429) säger att skogen är en förnyelsebar resurs som ska hanteras så att den ger en uthållig och god avkastning. Vidare säger lagen att andra intressen som naturen, kulturmiljön och rennäringen ska tas hänsyn till. Lagen ålägger skogsägaren att anlägga ny skog på platsen där en avverkning skett senast tre år efter avverkningen (Johansson m. fl., 2019). År 1923 började Sverige utföra mätningar av hur mycket skog som finns i landet i den så kallade Riksskogstaxeringen. Den mäter bland annat hur stort virkesförråd den svenska skogen har. Virkesförrådet är ett mått på skogsbeståndets volym innehåll av ved och det har fördubblats i storlek från 1923 till idag (Skogsstyrelsen, 2014). Eriksson m. fl. (2007) fann i en bred systemanalys av kollager och kolflöden i träd, mark, träprodukter och utbytbara material och bränslen att nettoutsläpp av CO<sub>2</sub> till atmosfären var lägre då skogen brukades mer intensivt för att producera virke till byggnadsmaterial.

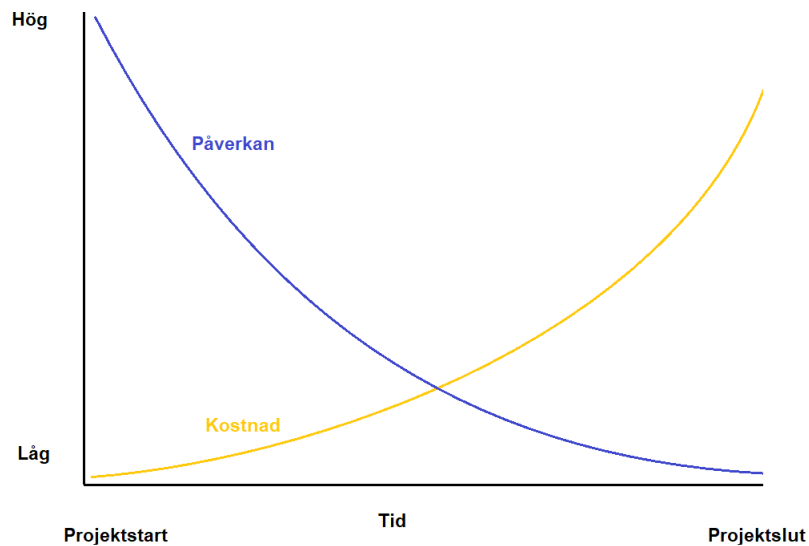
Cementproduktion är den största industriella källan till CO<sub>2</sub>-utsläpp bortsett från energiomvandling (Gustavsson m. fl., 2006). Mellan 5–7 % av de mänskligt skapade CO<sub>2</sub>-utsläppen härstammar från cementproduktion (Barcelo m. fl., 2014). Vid produktion av cement, som är en av de största beståndsdelarna i betong, frigörs CO<sub>2</sub> när kalciumkarbonat hettas upp och bryts ner till kalciumoxid och CO<sub>2</sub> (Gustavsson m. fl., 2006). Cirka ett halvt ton CO<sub>2</sub> frigörs för varje ton cement som produceras, dock tas en del av den producerade CO<sub>2</sub> upp genom karbonisering under de år som konstruktionen står på plats. Över 100 år är det rimligt att räkna med 8 % CO<sub>2</sub>-återbindning (Gustavsson m. fl., 2006). Hoxha m. fl. (2017) fann i en jämförande studie av 30 olika bostadshus att armerad betong är den resursgrupp som har störst klimatpåverkan.

Stenull och glasull är två typer av mineralull, som används till isolering. De produceras genom uppvärmning till 1350 och 1500 °C av produktionsmaterialet, som antingen är glas eller stenråvara, varpå det blåses ut till långa fibrer som sammanfogas. Cellulosaisolering består av cellulosa-fibrer som är den främsta beståndsdel i växter och produceras vanligen av återvunna tidningar, men kan även produceras av jungfrulig råvara (Bokalders m. fl., 2014). Då isoleringen produceras av återvunnet material kan de från produktionen resulterade utsläppen minskas med 37 % jämfört med då det produceras av jungfrulig råvara (Hillman m. fl., 2015). Österberg (2014) kom fram till att tillverkning av cellulosaisolering genererade 20 % av de växthusgasutsläpp som stenullisolering genererade och 50 % av de växthusgasutsläpp som glasullisolering genererade. Cellplast, EPS och XPS produceras båda av polystyren, har en hög isoleringsförmåga, goda fuktegenskaper och klarar av hög belastning. På grund av dess egenskaper är cellplast den vanligaste formen av grundisolering (Modin m. fl., 2012).

## 2.4 Byggprocessen

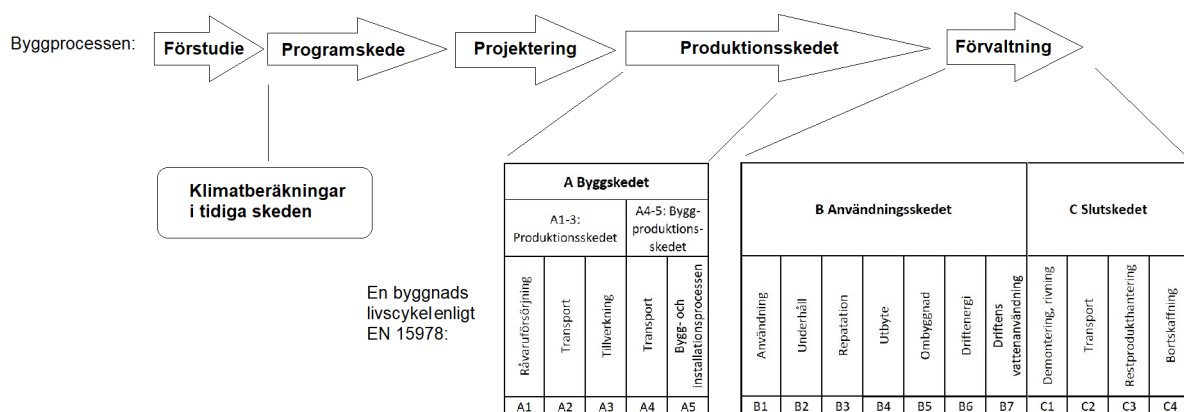
Byggprocessen utgörs av flera steg: Idéskede, programskede, projektering, byggskede/produktionsskede och förvaltning. Under idéskedet klargörs produktkrav, projektmål och ansvarsområden för projektledaren. Förutsättningar, risker, tid, kostnader och möjligheter kartläggs. Detta resulterar i en uppdragsspecifikation. Programskedet fungerar som projektets planering (Ottosson, 2015). Under programskedet ska funktions- och teknikkraV fastställas, arbetet i samtliga kunskaps- och teknikområden planeras och resulterar i en programhandling. Programskedet kan ses som två delskeden, programarbete och utredningsarbete. Projekteringen kan även delas in i tre underskeden, Gestaltning, Systemutformning och Detaljutformning (Pravdić, 2009). Under projekteringen sammanställs och sammanfattas som ritningar och andra tekniska specifikationer som sakkunniga producerat under förstudien. Arbetet leds vanligen av en projektledare. Då projektplaner skapats påbörjas produktionen, material och underentreprenörer beställs av entreprenören. Flera olika aktiviteter utgör byggskedet, bland annat grundläggning, stombyggnad och installationsarbeten. När byggnaden står på plats återstår förvaltningen. Byggherren erhåller ritningar dokument och anvisningar för att kunna förvalta byggnaden (Ottosson, 2015).

Eftersom mål och krav fastställs i programskedet, är det viktigt att tänka igenom energimål och övriga krav. Konsekvenserna av olika systemval och funktionskrav bör beräknas innan entreprenadupphandlingen eftersom det kostar väldigt lite att justera kravställning gällande till exempel systemval och klimatprestanda under projektets början medan det blir snabbt dyrare ju längre projektet fortskrider (Energimyndigheten, 2020). Den drastiska förändring i möjlighet till påverkan och kostnaden för förändringar visas i figur 1.



Figur 1: Beskriver hur möjlighet till påverkan förhåller sig till kostnaden för påverkan genom ett byggprojekt, egen tolkning av (Energimyndigheten, 2020)

Att kunna producera livscykelberäkningar i tidiga skeden av byggprocessen som resulterar i konkreta siffror på växthusgasutsläpp är något byggbranschen vill kunna åstadkomma för att på ett tydligt sätt kunna visa på hur materialval leder till varierande mängder växthusgasutsläpp. Förhoppningen är att möjligheten till att påverka byggnadens utformning och styra in på mer hållbara val, är stor i tidiga skeden eftersom inte lika många val är gjorda och lika mycket arbete lagts ner på att föra byggprojektet i en viss riktning. Det är mer sannolikt att bygga med ett nytt material eller en ny typ av stomme om alternativen lyfts tidigt i beslutsprocessen. Detta kan dels förklaras av vanans makt, då delar av byggprocessen fortlöpt som den gjort tidigare är det mer troligt att resten av byggprocessen fortsätter i samma spår som den gjort innan och dels på grund av att det kostar mer att riva upp beslut och ändra parametrar ju längre fram i byggprocessen ändringen sker. Var klimatberäkningarna med fördel sker syns i figur 2.



Figur 2: Schematisk bild av hur klimatberäkningar i tidiga skeden relaterar till byggprocessen och en byggnads livscykel enligt EN 15978.



## 3 Teori

*I detta kapitel presenteras teorier som i hög grad berör studien. Livscykelanalys och tillämpningen inom byggbranschen studerades för att få en djupare förståelse för verktygen som använts. Building information modeling undersöktes då en digital byggnadsinformeringsmodell är central för fallstudien och Task-technology fit studerades för att ge möjlighet till att studera framtida användande av klimatberäkningsverktyget och arbetsgången.*

### 3.1 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är det mest spridda och accepterade systematiska verktyget som används till att bedöma miljöpåverkan och redovisa resursflöden till och från byggnader (Boverket, 2015). LCA är en kvantitativ bedömningsmetod som ofta är mer generell än andra metoder som till exempel miljökonsekvensbeskrivning (MKB) (SLU, 2019). Det finns flera olika internationella standarder som används beroende på vilken produkt LCA:n undersöker. De vanligaste är ISO14040 och ISO14044 som är två övergripande standarder. LCA enligt den senare standarden utgörs av fyra steg som itereras, *definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning* och *tolkning av resultat* (M. Larsson m. fl., 2016). I det första steget bestäms ett mål och studiens omfattning beroende på sammanhanget, vem beställde studien och varför? Omfattningen av LCA:n behandlar frågor som val av miljöpåverkanskategorier, funktionell enhet och systemgränser. Ska hela produktens livscykel omfattas från råvaruutvinning till avfallshantering, så kallad "vagga till grav", eller görs systemavgränsningar för att bara studera vissa resursflöden eller vissa livscykelfaser? I nästa steg, *inventeringsanalysen*, också kallad livscykelinventering (LCI), sammanfattas alla resurser som använts i produktens hela livscykel samt de utsläpp som genererats av resursanvändningen. I det tredje steget, *miljöpåverkansbedömning*, fördelas utsläppen och miljöbelastningarna från resursanvändning och markanvändning om till bidrag i olika miljöpåverkanskategorier. I det fjärde steget, *Tolkning av resultat*, analyseras resultatet i förhållande till studiens mål, avgränsningar och omfattning så att slutsatser kan dras. Känslighetsanalyser och bedömningar av de antaganden som gjorts, ingår även i detta steg (SLU, 2019).

#### 3.1.1 LCA av byggnader

Olika miljöbedömningsverktyg har använt sig av LCA av byggnader sedan 1990-talet och många fallstudier har även använt sig av LCA-metodik sedan 15–20 år tillbaka i tiden (M. Larsson m. fl., 2016). Något som hindrat verktyget från att bli mer spritt på området är att beräkningarna utförts på olika sätt med olika miljöpåverkanskategorier och systemavgränsningar. Det har inte varit tydligt vilka delar av byggnaden som ska inventeras samt vad som avses i de olika livscykelskedena. Detta har gjort det svårt att jämföra olika byggnaders LCA:er sinsemellan. Sedan mitten av 00-talet har arbetet med att standardisera processen pågått, både av International Organisation for Standardisation (ISO) respektive European Committee for Standardisation. Både EN 15978, vilken beräknar ett byggnadsverks miljöprestanda, samt EN 15804, (tabell 1 och 2) som är ämnad för byggprodukter, är resultat av detta standardiseringsarbete. Sedan 2014 har Product Category Rules (PCR) varit en del av Environmental Product Declaration International som förtecknar regler vilka är kompatibla med EN 15804 och EN 15978 (Erlandsson, Ekvall m. fl., 2014). I miljöpåverkanskategorin *klimatpåverkan* studeras endast fossilt kol och inte biogent kol, till följd av misstanken att om även biogent kol skulle inkluderas, skulle en missvisande bild ges av klimatpåverkan, då endast vissa delar av en produkt eller byggnads livscykel studerades. Om till exempel byggskedet av en byggnads livscykel studerades och biogent kol inkluderades skulle träprodukter kunna generera negativa utsläpp. Om däremot omfattningen även skulle inkludera slutskedet av byggnadens livscykel skulle det inbundna biogena kolet frigöras (M. Larsson m. fl., 2016). Enligt Erlandsson (2018) finns idag både LCA-data så väl som metodik för att klimatdeklarationer av byggnader som ska vara genomförbara. Tidigare var tillämpningen av LCA på byggnader relativt låg både i Sverige och globalt, dels då drivkrafter saknats, men även på grund av avsaknaden av jämförbara standarder (Boverket, 2015). År 2022 träder ett lagkrav på klimatdeklarationer vid uppförandet av nya byggnader i kraft, vilket är ett sätt för staten att öka drivkraften i branschen (Boverket, 2020). En utredning om klimatdeklarationer som Boverket genomförde, fann att den uppskattade tidsåtgången för en klimatdeklaration var 120–241 timmar. Om ett konsultarvode antas vara 1000 kr per timme innebär det att kostnaden för en klimatdeklaration är mellan 120 000 och 241 000 kr. Utredningen uppskattade att utsläppen av växthusgaser från byggsektorn kommer minska med 10–20 % till följd av klimatdeklarationskravet inom fem–tio år (Boverket, 2018).



För att kunna göra en LCA av en byggnad krävs en LCI, som resulterar i en resurssammanställning av de ingående resurserna i varje livscykelkedja som LCA:n omfattar. Livscykelkedjorna själva består av ett antal informationsmoduler, vilket åskådliggörs i tabell 1 och 2. Den minsta omfattningen en LCA av en byggnad bör ha är A1–5, alltså byggskedet. En mindre omfattning skulle bli missvisande då en stor andel prefabricering förskjuter miljöpåverkan från A5 till de tidigare skederna (Erlandsson, 2018). De byggdelar som ska inkluderas i redovisningskravet är bärande konstruktionsdelar, klimatskärm och innerväggar. Dessa byggdelar förväntas omfatta 80–90 % av klimatpåverkan i produktionskedet (Boverket, 2018). För byggprodukter räcker det med redovisning av produktionskedet, informationsmodul A1-3, en omfattning som kallas "vaggagrind". Det är bara dessa tre skederna som är obligatoriska att redovisa i en EPD eftersom det bara är de skederna som går att verifiera mot uppmätta data. Vissa EPD:er innehåller värden för informationsmodul A4 och A5, men de bygger då på antaganden (Erlandsson, 2018). EPD:er är bara jämförbara om den deklarerade enheten (EPD:ernas motsvarighet till funktionell enhet), samt livslängden är den samma (Svensk Betong, 2017). En funktionell enhet ska vara ett mått på vad aktiviteten eller produkten försöker åstadkomma. En vanlig funktionell enhet för byggnader är m<sup>2</sup> tempererad yta (M. Larsson m. fl., 2016). Att inkludera användningskedet, B1 - B7, av byggnaden är möjligt i en klimatdeklaration utförd i tidiga skeden: Det bygger då på en rad antaganden om framtidens energisystem, byggnadens livslängd, byggnadens behov av underhåll och renowing, energianvändning, med mera. Dessa antaganden gör att osäkerheten kraftigt ökar för en LCA utförd i tidiga skeden med ett så brett omfång (Erlandsson, 2018). Azhar m. fl. (2012) genomförde en studie som undersökte hur byggnadsmaterials osäkerheter påverkade tillförlitligheten av LCA:er för bostadsbyggnader över 50 år. Resultaten visade att osäkerheten i LCA-beräkningarna bara var något mindre än variationen mellan olika byggprojekt. Undantaget var de projekt som hade en större skillnad än 20 % i beräknade utsläpp. Isolering var den resursgrupp som styrde osäkerheten mest. Aktas m. fl. (2012) fann att en bostadsbyggnads genomsnittliga livslängd i USA är 61 år. Studien fann att interiörrenovering använde 34 % av energin som användes i byggskedet för vanliga hem och 22% för lågenergihus förutsatt att byggnadens livslängd var 61 år.

Tabell 1: En byggnads (EN 15978) eller byggnadsdels (EN 15804) livscykel uppdelad i dess olika skeden, egen tolkning enligt Erlandsson (2018)

A Byggskedet					B Användningskedet							C Slutskedet			
A1-3: Produktionskedet			A4-5: Byggproduktionskedet												
Råvaruförsörjning	Transport	Tillverkning	Transport	Bygg- och installationsprocessen	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Ombyggnad	Driftenergi	Driftens vattenanvändning	Demontering, rivning	Transport	Restprodukthantering	Bortskaffning
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4

Tabell 2: Bygg och installationsprocessen indelad i fem underliggande informationsmoduler egen tolkning enligt Erlandsson (2018).

A5.1	Spill, emballage och avfallshantering
A5.2	Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater (energi till drivmedel m.m.)
A5.3	Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader (energi till uppvärmning m.m.)
A5.4	Byggprocessens övriga energivaror (som gasol och diesel för värme och dylikt, köpt el, fjärrvärme o.s.v.)
A5.5	Övrig miljöpåverkan från byggprocessen, inklusive övergödning vid sprängning, markexploatering, kemikalieanvändning o.s.v.

Cole (1999) visade att byggproduktionskedet, A4–A5, endast stod för en liten del av det totala klimatavtrycket som byggnaden genererade under sin livscykel. Adalberth (2000) undersökte klimatpåverkan av en träbyggnad i Sverige

och fann att mindre än 10 % av energin som gick åt att producera byggnadsmaterialen användes i byggproduktions-skedet.

Enligt Häfliger m. fl. (2017) finns två huvudsakliga detaljeringsgrader för LCA av byggnader och konstruktioner. Detaljeringsgraderna är "heltäckande byggnads-LCA", som bedömer alla miljöpåverkanskategorier över hela byggnadens livsspann och "byggnadsmaterial-LCA", som studerar byggnadsmaterialets miljöpåverkan. Vidare menar Häfliger m. fl. (2017) att om ett byggmaterial bidrar med mer än 10 % av de totala klimatavtrycket anses materialet utgöra ett signifikant bidrag. I samma studie fann författarna att cementbaserade produkter utgjorde den största utsläppsposten av alla resursgrupper. Det ska dock noteras att valet av systemgräns gällande studerad tid påverkade resultatet kraftigt. Då 120 år valdes istället för 60 år halverades resursgruppens global warming potential (GWP-värde) i förhållande till andra resursgrupper då dessa behövde bytas ut till skillnad från de cementbaserade produkterna. Isoleringmaterial utgjorde en betydande utsläppspost i samma studie.

Lasvaux m. fl. (2014) genomförde en studie som undersökte hur simplificeringen av antalet undersökta ämnesflöden i en LCI påverkar resultatet i LCA:n. Studien undersökte femton byggmaterial och då bara CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och Lustgas (N<sub>2</sub>O) kartlades som växthusgaser, omfattades drygt 95 % av byggnadens totala klimatpåverkande utsläpp. Om dessutom klorerade och fluorerade ämnen lades till så omfattades hela klimatavtrycket i inventeringen. Studien fann att den förenklade LCI:n var ett rimligt alternativ att använda sig av för att minska arbetet och omfattningen av LCI:n.

Basbagill m. fl. (2013) fann att besluten som fattas under en byggnads tidiga designstadier avgör byggnadens miljöpåverkan. Men eftersom intuition och kunskap om vilka val som starkast påverkar byggnadens miljöpåverkan ofta saknas, skjuts besluten ofta fram till senare skeden av utformningen. Med en tidigt genomförd LCA som beslutsunderlag, kan beslutsfattande i tidiga utformningsskeden underlättas. Detta eftersom information ges om miljömässig påverkan av olika utformningar av BIM-modellen. Basbagill m. fl. (2013) menar vidare att många forskare har visat att ju tidigare beslut fattas i designstadiet och ju färre förändringar som görs desto större är potentialen att minska byggnadens miljöpåverkan. Brophy m. fl. (2011) påvisade en minskning av klimatpåverkan med 40 % genom att bestämma byggnadsutformning och placering i tidiga skeden. Wang m. fl. (2005) integrerade BIM, LCA, energianalys och mjukvaruoptimering i en studie för att utvärdera miljöpåverkans beroende av olika utformningsparametrar i tidiga skeden. En flermålsbaserad algoritm, vilken fokuserade på att sänka kostnader och minska miljöpåverkan togs fram, vilken avsevärt sänkte byggnaders klimatpåverkan.

### 3.2 Building information modeling

Building Information Modeling (BIM) är en process som börjar med skapandet av en digital representation av den fysiska och funktionella karaktären av en byggnad (Hardin m. fl., 2015). BIM utgör en kollektiv kunskapsgrund för beslutsfattandet under en byggnads liv, från planering till demolering. BIM ökar transparensen inom ett projekt och underlättar samarbetet då alla involverade intressenter kan lägga in, extrahera, uppdatera eller modifiera information under projektets olika faser (Keyes m. fl., 2015).

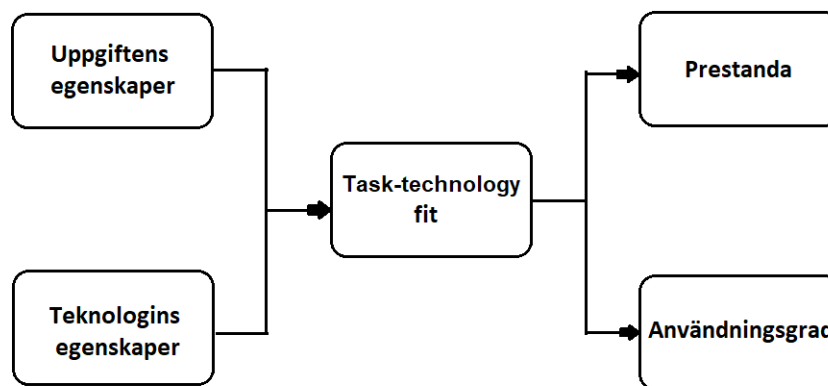
Enligt Hardin m. fl. (2015) krävs tre samverkande nyckelfaktorer för att ett BIM-projekt ska fungera: processer, teknologier och beteenden. BIM Alliance (2017) menar på ett likande sätt att BIM innefattar Virtual Design and Construction (VDC) som består av tre delar: produkten, organisationen och processen. Vidare menar BIM Alliance att fyra kriterier ska vara uppfyllda för att användningen av BIM ska vara korrekt: 1. *Informationshandling sker med en eller fler objektsorienterade modeller*, 2. *Egenskaper är kopplade till objekten i modellerna, och används*, 3. *Objekten i modellerna har relationer till varandra*, 4. *Olika informationsvyer kan skapas ur en och samma modell* (BIM Alliance, 2017).

Till skillnad från computer aided design (CAD), är inte datan i 3D-ritningarna i BIM endast grafisk uppbyggd med linjer, bågar och cirklar. Den är istället kontextuell och semantisk, där objekt definieras i termer av byggdelar och system som pelare, kolumner, väggar och utrymmen. Det betyder att om en vy redigeras i CAD, måste även de andra kontrolleras och uppdateras medan det sker automatiskt i BIM, då modellen innehåller all information relaterad till byggnaden, inklusive fysiska och funktionella egenskaper, samt projektets livscykelinformation i en lista av objekt (Azhar m. fl., 2012).

BIM har många användningsområden inom arkitektur, teknik och konstruktion, några exempel är 3D-visualisering, kollisionsdetektering, modellbaserade kvantitetsberäkningar, schemaläggning, kostnadsanalyser, miljöanalyser så som CO<sub>2</sub>-beräkningar och solinstrålningsanalys (Lee m. fl., 2015). BIM anses ha en enorm potential att förbättra informationsflödet genom en byggnads hela livscykel. Integreringen av BIM och LCA har potentialen att minska tidsåtgången i LCI:n samtidigt som representativiteten för LCA-resultaten avsevärt ökar för byggnadens specifika utformning (Yang m. fl., 2018). Trots dessa många användningsområden och fördelar, har bygg- och anläggningsbranschen varit långsamma med att anamma tekniken. Några anledningar till den långsamma implementeringen är oklara fördelar i pågående förfarande, brist på stödjande utbildning och träning i användandet av BIM, ingen nationell standard, brist på stödjande material för inläring av BIM-verktyg, brist på samarbete i projektintressenters användande och skapande av modeller och oklara roller och ansvarsområden för att ladda in data och hålla den uppdaterad i modellen. Eftersom BIM möjliggör och bygger på informationsdelning och utgör en plattform för samarbete i ett projekt, krävs inte bara individens acceptans av modellen, utan även att organisationen är villig att etablera ett internt samarbete som nyttjar BIM (Lee m. fl., 2015).

### 3.3 Task-technology fit

Task-teknology fit (TTF) är en etablerad teori som analyserar hur kompatibel en teknologi och dess arbetsområde är. Teorin menar att teknologin troligare kommer att ha en positiv effekt på prestandan och användas i större utsträckning om teknologins egenskaper matchar egenskaperna hos uppgiften som ska utföras (Goodhue m. fl., 1995). Figur 3 visualiserar modellen med en schematisk bild.



Figur 3: Schematisk bild av Task-teknology fit, egen tolkning av (Goodhue m. fl., 1995)

Hilal m. fl. (2019) genomförde en studie i syfte att utveckla en modell för BIM-acceptans inom facilities management genom att sammanfoga TTF och the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT). Författarna byggde vidare på tidigare studier av Lee m. fl. (2015), som menar att förväntad prestanda bestämmas genom att mäta hur väl:

- interoperabiliteten mellan intressenterna förbättras då BIM används,
- användandet av BIM tillåter omfattande hantering av livscykelinformation,
- tid för beslutsfattande minskar då BIM används,
- BIM-användning kan expandera möjliga samarbete med andra organisationer,
- tid för arbetsuppgifthantering kan minskas då BIM används,
- uppgiftens precision kan förbättras då BIM används,
- snabbt svar är möjligt på oväntade förändringar då BIM används.

Då de många självklara fördelarna med BIM är tydliga, finns en bakomliggande orsak till att implementeringen i byggsektorn går långsamt. Då ej tillräckligt med kunskap om BIM finns hos användaren så finns andra mer traditionella tillvägagångssätt att använda sig av. De äldre tillvägagångssätten passar inte uppgiftens egenskaper lika bra men eftersom användaren redan har kunskap om hur förfarandet görs med de äldre verktygen så har BIM i stunden en lägre task-teknology fit. Där krävs utbildning för att ge utövaren en kunskap i hur BIM används för att task-teknology fiten ska bli högre med BIM än med det gamla verktygen.

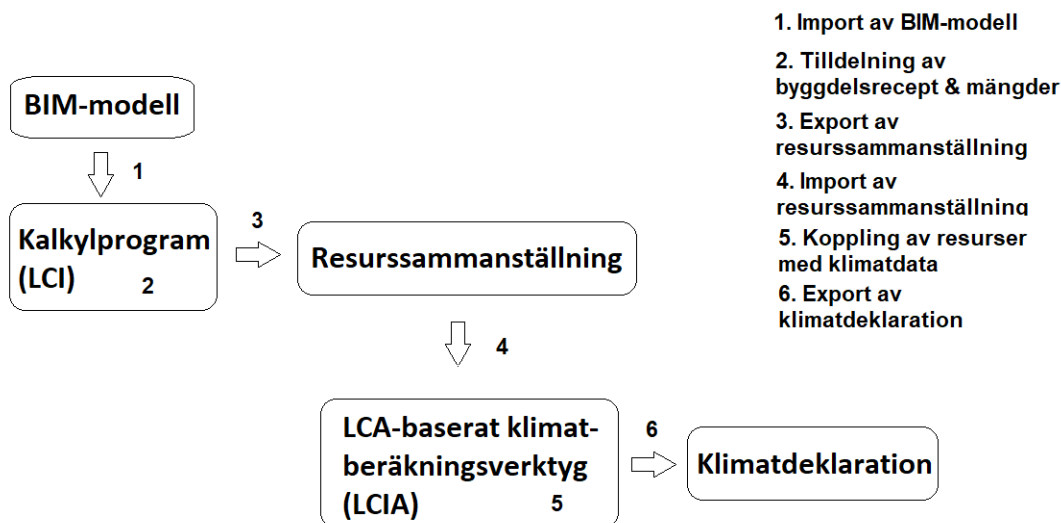
## 4 Metod

I denna del beskrivs tillvägagångssättet som använts för att besvara projektets frågeställningar och uppfylla dess syfte. Studien använde sig av en induktiv metod i form av en komparativ modelleringsstudie som ämnade belysa potentiella skillnader modellerna emellan och dra slutsatser utifrån dessa skillnader med stöd ifrån tidigare studier på området.

### 4.1 Modelleringsstudie

I dagsläget saknas en etablerad metod för att i tidiga skeden kunna kvantifiera växthusgasutsläpp, som kan hänföras till uppförandet av en ny byggnad. Den här modelleringsstudien ämnade finna en metod för att producera klimatberäkningar utifrån en översiktlig arkitekturmodell i tidiga skeden. Arkitekturmodellen behövde vara en digital byggnadsinformationsmodell (BIM-modell) som avspeglade den planerade byggnaden och den behövde innehålla information om de ingående byggdelarna, mängder och geometrier. Det första steget i metoden innebar en import av BIM-modellen i ett kalkylprogram eller annan programvara som gör det möjligt att tilldela de olika ingående BIM-objekten egenskaper och hantera mängder (se steg ett i figur 4). I det andra metodsteget organiserades BIM-objekten efter egenskaper och kravspecifikationer varpå BIM-objekten kunde tilldelas byggdelsrecept med tillhörande materialegenskaper och mängder. När de undersökta BIM-objekten innehöll mängd- och resursinformation kunde en resurssammanställning produceras för export. Detta var metodens tredje steg. Dessa tre steg fungerade som metodens LCI där de ingående resursflödena i byggprojektet lades ihop till en resurssammanställning.

För metodens kvarvarande steg krävdes en programvara som kan koppla samman BIM-objektens byggresurser och mängder med deras korresponderande utsläppsfaktorer gällande växthusgaser. För att åstadkomma detta krävdes ett LCA-baserat verktyg innehållande GWP-värden för vanligt förekommande byggresurser som kan hantera EPD:er och kan enhetsomvandla mängder. Metodens fjärde steg bestod av en import av resurssammanställningen, vilken producerades i metodsteg tre, till det LCA-baserade klimatberäkningsverktyget. I det femte metodsteget kopplades de olika ingående byggresurserna i BIM-modellen samman med LCA-beräknade utsläppsvärden av växthusgaser för att tillsammans bilda specifika GWP-värden för BIM-objekten och hela BIM-modellen. I det sjätte metodsteget producerades en klimatdeklaration där de klimatpåverkande utsläppen allokeras på byggnadens olika livscykelkedan, byggprojektdelare och resursgrupper för att undersöka hur klimatpåverkan var fördelad och var de största utsläppen fanns koncentrerade.



Figur 4: Flödesschema över de ingående processerna och produkterna i kvantifieringen av växthusgaser som genereras vid uppförandet av en byggnad.

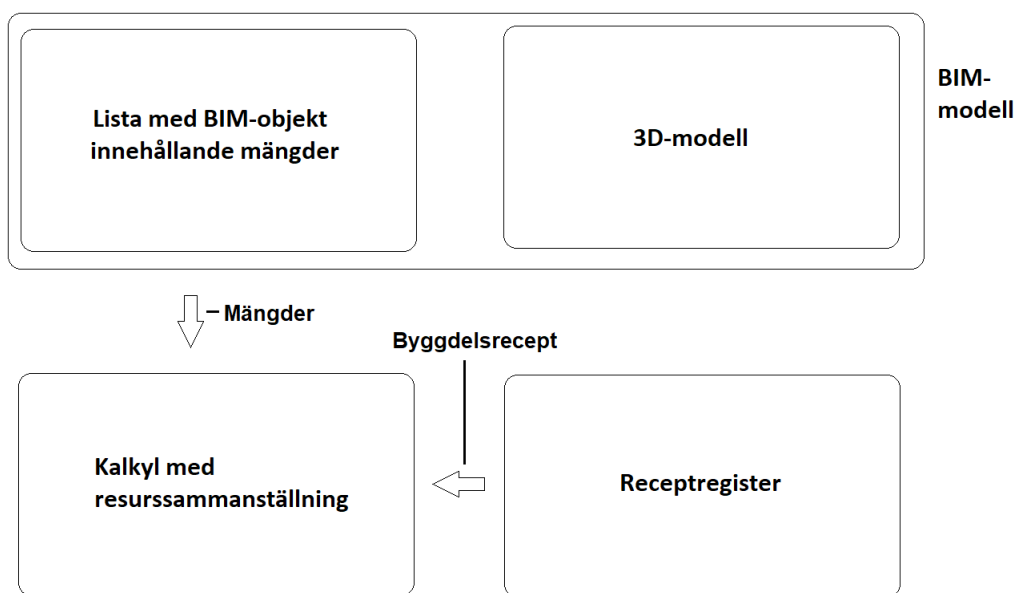
## 4.2 Fallstudie

Som fallstudie användes hus X, som är en undervisningsbyggnad som ska byggas vid Vällingbyskolan. Byggnaden kommer rymma undervisningssalar, matsal och ett storkök bland annat. Det är ett suterränghus med två våningar som tillsammans har en golvyta på 3177 m<sup>2</sup>. Vissa delar i byggnadens utformning är bestämda, som till exempel att fasaden ska bestå av tegel och att taket ska vara ett sadeltak med plåt. Stommens utformning och konstruktionsmaterial är inte fastslagna, vilket gör byggnaden relevant att studera. Förhoppningen är att kunna erbjuda byggnadens beställare klimatberäkningar av byggnaden med stomkonstruktion av tre olika, vanligt förekommande byggnadsmaterial.

### 4.2.1 Framtagande av resurssammanställning

En BIM-modell av Hus X importerades i kalkylprogrammet som användes i studien, VICO Office, i form av en Revit-fil, steg 1 i figur 4. BIM-modellens alla ingående byggdelar (BIM-objekt) beräknades till area, volym och antal för att sammanställas i en mängdlista som ses högst upp till vänster i figur 5.

Nästa steg bestod i att mängdposter separerades eftersom alla BIM-objekt av samma typ representerades av en mängdpost. Till exempel separerades bärande ytterväggar in i fyra olika mängdposter då fyra olika typer av ytterväggar behövde användas för att tillgodose de olika fysiska kraven som ställdes på byggnadens ytterväggar.



Figur 5: Schematisk bild över framtagandet av resurssammanställningen, enligt steg 2 i figur 4.

De ingående BIM-objekten tilldelades byggdelsrecept bestående av flera mindre delkomponenter, vilka i sin tur utgjordes av byggresurser, steg 2 i figur 4. Dessa byggdelsrecept återfanns i receptregistret, som är uppbyggt av och utgår från samma källa som flera andra byggregister på marknaden och orienteras med hjälp av så kallade BSAB-koder, vilka består av siffror och bokstäver med tillhörande produktkategorier. Till exempel står 27 för *Bärverk i husstomme* och 27.C för *Stomyttervägg* (Eriksson, 2015).

När byggdelsreceptet för ett BIM-objekt identifierats i receptregistret adderades det till en gemensam kalkyl som innehåller materialkoder, mängder och ingående byggresurser. Kalkylen användes till att producera och exportera en rapport, innehållande resurssammanställningen för BIM-modellen. Då byggdelsrecept tilldelats BIM-objekten och sammanställts i kalkylstrukturen, kunde mängder tilldelas BIM-objekten, steg 2 i figur 4. Dessa mängdtilldelade recept

bildade modellens resurssammansättning och låg till grunden för beräkningarna av hur mycket växthusgaser modellen genererar. Resurssammansättning exporterades i form av en Excel-fil, steg 3 i figur 4. En kostnadsuppskattning för byggnaden gavs av resurssammansättningen. Den var specifik för byggnadens utformning och var inte helt korrekt då den baserades på 2017 års kostnader för byggresurser.

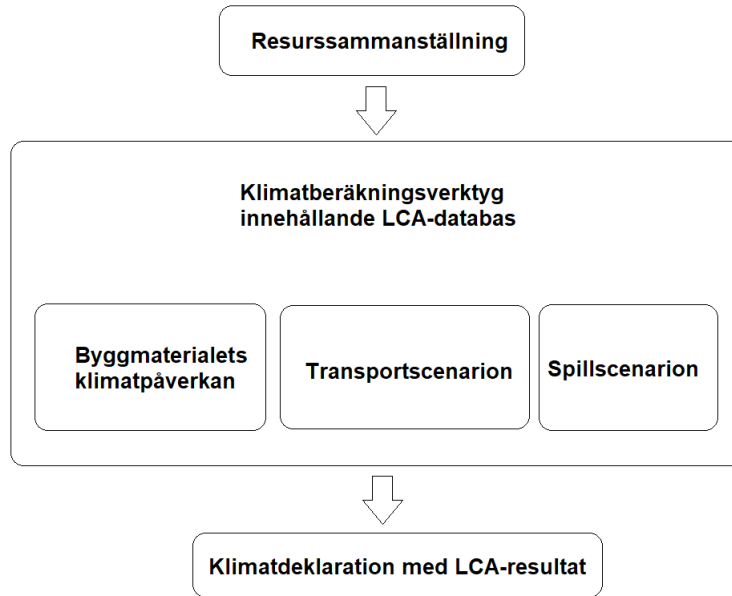
Den digitala modellen av byggnaden (BIM-modellen) kunde varieras genom att de ingående BIM-objekten tilldelades olika byggdelsrecept. De olika byggdelsrecepten bestod av varierande halter specifika byggresurser samtidigt som BIM-objekten hade en konstant geometri med givna mängder. Detta möjliggjorde en jämförelse av klimatavtrycken relaterade till de olika materialvalen. De tre byggnadsmaterialen som undersöktes för konstruktion av byggnadens stomme i studien var betong, trä och stål.

#### 4.2.2 Framtagande av klimatdeklaration

Det LCA-baserade klimatberäkningsverktyget som användes i studien var Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM 1.0) som utvecklats av Svenska miljöinstitutet (IVL) och är ett resultat av byggbranschens behov av ett öppet branschgemensamt verktyg för LCA som ger ett entydigt resultat. Verktyget baseras på LCA-standarderna *Hållbarhet hos byggnadsverk - EN 15804* (byggprodukter) och *EN 15978* (hela byggnader), som kopplar till byggproduktförordningen (Erlandsson, 2018). De två standarderna utvärderar miljöprestanda i byggprodukter och byggnader. I dagsläget inkluderas inte driftsfasen av byggnadens livscykel i verktyget, utan en gräns dras efter uppförandet av byggnaden. Detta eftersom att klimatpåverkan från energianvändningen i driftsfasen är så direkt beroende av det framtida energisystemet (Erlandsson, 2018).

EPD:er används i verktyget för att ge utsläppsvärden på de ingående resurserna. År 2018 fanns det 3600 EPD:er för byggresurser och energivaror inlagda i programmet (Erlandsson, Byfors m. fl., 2018). Samtidigt finns över 50 000 specifika byggresurser, av vilka de flesta behöver kopplas till en generisk resurs då en leverantörsspecifik EPD saknas (Erlandsson, 2019). I det fall en EPD saknas för produkten, måste generell LCA-data, som IVL tagit fram, användas istället. Om specifika produkter redan har beslutats om, kan EPD:er från externa EPD-databaser läggas in för den specifika produkten efter att generell LCA-data valts. I det här projektet kom en stor majoritet av alla resurser att kopplas till generisk-LCA data då EPD:er saknades för de allra flesta resurser.

I figur 6 visas schematiskt informationen i klimatberäkningsverktyget samt input till och output från verktyget. När en resurssammansättning med givna mängder och resurser har importerats i BM 1.0, steg 4 i figur 4, kunde modellens klimatpåverkan beräknas i byggskedet, steg 5 i figur 4. EPD:erna och den generella LCA-datan innehåller information om växthusgasutsläppen som genererats i produktionskedet (informationsmodul A1-3, se figur 1), för varje resurs. Utsläppen för transport (A4), är resultatet av ett övergripande transportskenario som kopplats till LCA-datan för varje enskild byggresurs. Utsläppen från spill och avfallshantering (A5.1), beräknas även de med generella förbestämda värden som kopplas till byggresursen. Transport- och spillvärdena kan ändras till specifika värden då specifika produkter och producenter har beslutats om i ett byggprojekt. På så sätt inkluderas den minimala omfattningen av livscykelskedet, (A1-A5.1), för LCA av byggnader (Erlandsson, 2018). Det sista steget innebär en export av klimatdeklarationen från BM 1.0 enligt steg 6 i figur 4.



Figur 6: Framtagandet av en klimatdeklaration i ett klimatberäkningsverktyg, där den övre pilen representerar steg 4, processen klimatberäkningsverktyget representerar steg 5 och där den nedre pilen representerar steg 6 i 4



## 5 Resultat

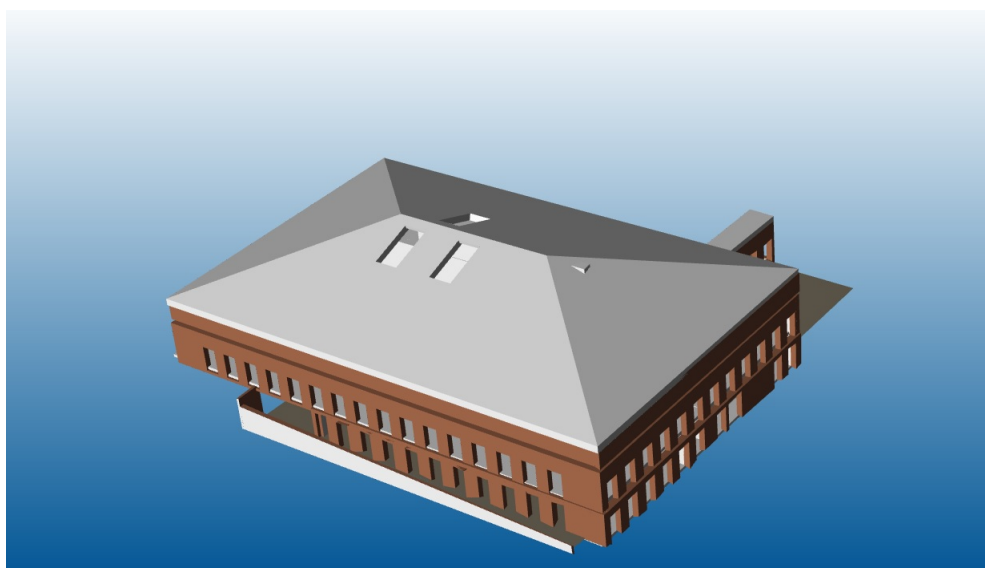
I detta kapitel redovisas resultatet av modelleringsstudien. Först redovisas Hus X byggt med stomme av betong och isolering av mineralull, därefter visas ett scenario med trästomme och cellulosaisolering till sist visas ett scenario med stålstomme och mineralull. Anledningen till att modellen med trästomme isolerades med cellulosaisolering var för att så stor del som möjligt av modellen skulle utgöras av träbaserade produkter. Modellen utgörs av husunderbyggnad samt bärande ytterväggar, vilka inkluderar isolering, bärande innerväggar och tak.

### 5.1 Betong

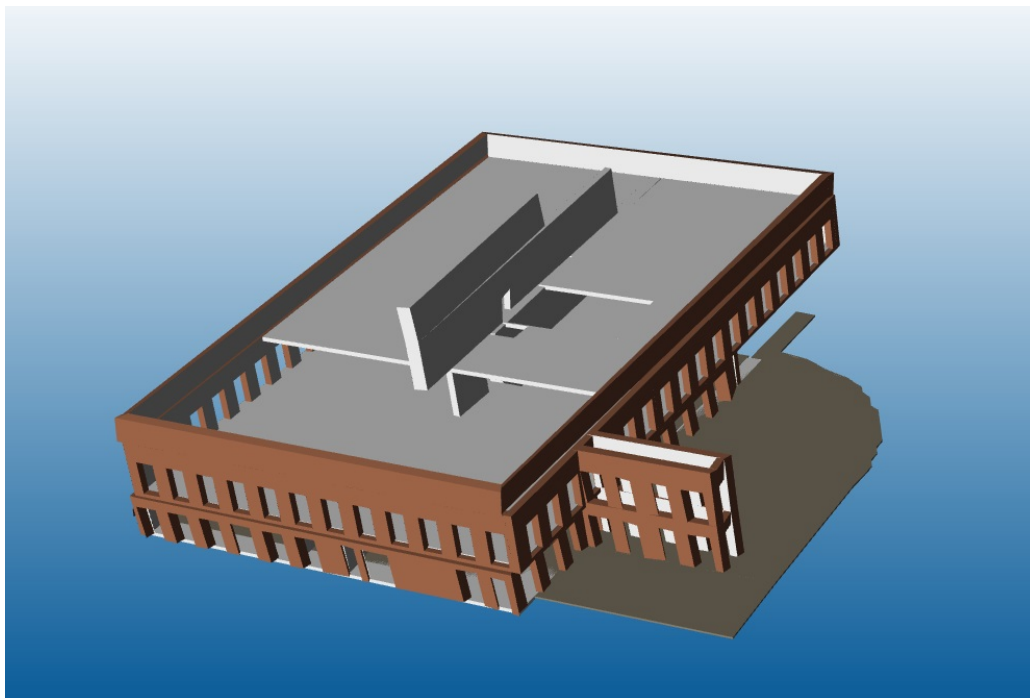
I modellen med betongstomme bestod bjälklag och ytterväggar i huvudsak av betong. I samtliga modeller bestod de bärande innerväggarna av stål på grund av utrymmesskäl och taket var modellerat av trä och plåt för att så bra som möjligt återspegla den framtida fysiska byggnaden. Ytterväggarna i modellen bestod av betong och hade en tegelfasad för att återspegla den blivande fasaden. Isolering i modellen bestod av mineralull frånsett grundplattans isolering och isoleringen till väggar i suterräng. Denna isolering bestod av EPS-cellplast, respektive XPS-cellplast, på grund av deras fuktavvisande egenskaper och förmåga att klara av hög belastning. I tabell 3 återfinns de olika byggdelen och i figur 7 visas visat sammansättningen av dessa. Endast tre av byggdelen är unika för betongmodellen, dock utgör dessa tillsammans drygt 54 % av den totala arean i sammanställningen.

Tabell 3: De i betongmodellen ingående objekten. \* innebär att byggdelen används i alla tre modeller

Namn på objekt	Typ av objekt	Mängd [m <sup>2</sup> ]
*Grundmur betong	Yttervägg	41
*Källarvägg betong Tj 150 under mark + isolering Tj 100	Yttervägg	110
Yttervägg betongstomme Tj 490 tegel	Yttervägg	1094
Yttervägg betongstomme Tj 490 tegel, minus isolering	Yttervägg	115
*Stålstomme pelare och balk	Innervägg	492
*Betongbjälklag på mark Tj 200	Bjälklag	522
Bjälklag TTK50 + Tj 80 slitsats	Bjälklag	3841
*Yttertak stomme träfackverk, planplåt, sadeltak	Tak	1831

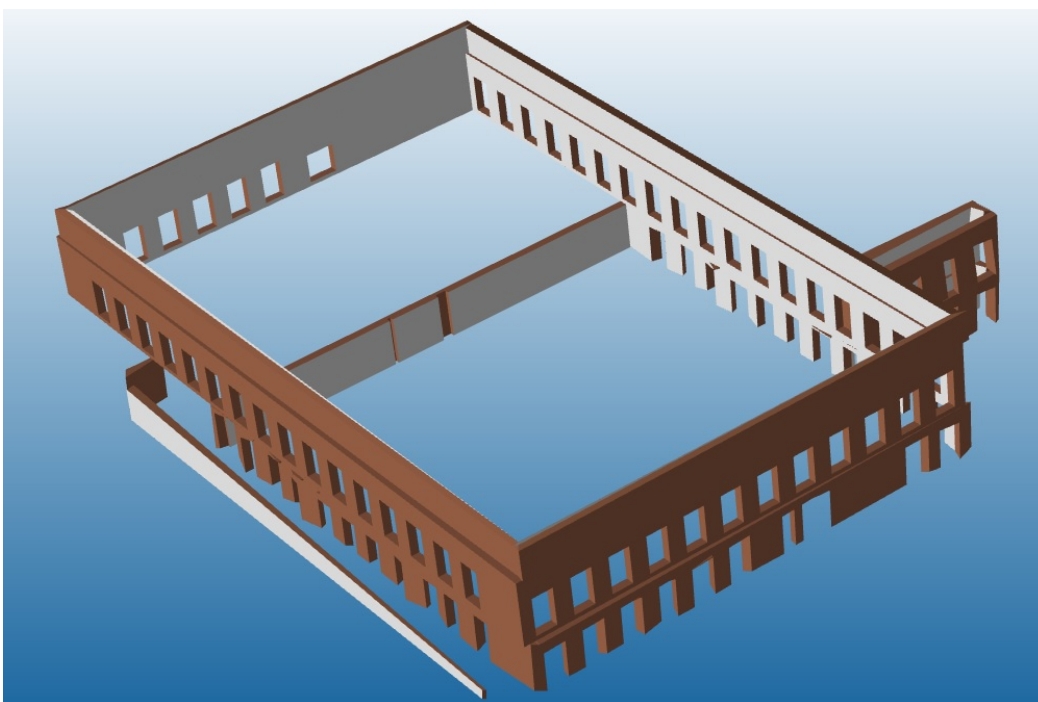


Figur 7: Samtliga modellerade byggdelen sammansatta i 3D visualisering i VICO Office.



Figur 8: 3D-visualisering av bygghuset sammansatta utan tak för insyn i bygghuset.

Utbyggnaden till höger i figur 8 utgörs av bygghuset *"Yttrevägg betongstomme Tj 490 tegel, minus isolering"* som återfinns i tabell 3 och är en kallstruktur (del av bygghuset som inte värms upp eller isoleras). Strukturen mitt i bygghuset är *"Stålstomme pelare och balk"* och de gråa horisontella ytorna i bygghuset är *"Bjälklag TTK50 + 80 slitsats"*.



Figur 9: Visar de fyra olika typerna av yttreväggar som återfinns i samtliga modeller.

Den rampformade strukturen längst till vänster i modellen i i figur 9 av bilden betecknas ”Grundmur betong” och är en av de två ytterväggarna som bestod av betong i samtliga modeller. Väggen som går rakt genom byggnaden mellan de två långsidorna betecknas ”Källarvägg betong Tj 150 under mark + isolering Tj 100”.

Då byggresurser importerats och kopplats till klimatdata, producerades klimatberäkningar för modellen med hjälp av BM 1.0. Utsläppen allokerades på byggresurser, byggprojektdelar samt byggskeden. Tabell 4 visar att betong och armering var två av de tre resursgrupper som genererade störst klimatavtryck i denna modell. Eftersom betong sällan används utan armering, kan det vara intressant att studera deras sammanlagda bidrag till växthusgasutsläppen. De stod tillsammans för 60 % av de totala utsläppen. Isoleringen svarade för knappt 29 % och var den näst största utsläppsposten. Träprodukter genererade 1,0 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> vilket motsvarade 1 % av de totala växthusgasutsläppen.

Tabell 4: Klimatpåverkan allokerad på betongmodellens byggresurser i byggskedet.

<b>Byggresurs</b>	<b>Klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>]</b>	<b>Klimatpåverkan [%]</b>
Armering	12,6	16
Byggblock	0,1	0
Byggskivor	0,6	1
Platsgjuten betong	34,1	44
Fästdon, beslag, lim och likn.	0,8	1
Gipsskivor	1,6	2
Isolering	22,5	29
Prefabbetong	0,3	0
Stål- och plåtprodukter	3,2	4
Träprodukter	1,0	1
Tätskikt	1,1	1
<b>Totalt</b>	<b>77,6</b>	<b>100</b>

## 5.2 Trä

Bjälklaget i modellen bestod av trä. Även bärande yttervägg bestod i huvudsak av trä i form av träregelstomme. Väggar i suterräng bestod istället av betong. Detta på grund av hållfasthetsskäl eftersom dessa väggar som hade mark på utsidan av sig utsattes för en horisontell belastning. I modellen användes cellulosaisolering med undantag för grundens isolering, som bestod av EPS-cellplast och isolering till väggar i suterräng, som bestod av XPS-cellplast. Tak, grund och bärande innerväggar var av samma typ som i betongmodellen. De ingående byggdelarna återfinns i tabell 5.

Tabell 5: De i trämodellen ingående objekten. \* innebär att byggdelen även används i alla tre modeller.

Namn på objekt	Typ av objekt	Mängd [m <sup>2</sup> ]
*Grundmur betong	Yttervägg	41
*Källarvägg betong Tj 150 under mark + isolering Tj 100	Yttervägg	110
Yttervägg lättregelstomme Tj 428 tegel	Yttervägg	1094
Yttervägg lättregelstomme Tj 428 tegel minus isolering	Yttervägg	115
*Stålstomme pelare och balk	Innervägg	492
*Betongbjälklag på mark Tj 200	Bjälklag	522
*Betonggolv på mark Tj 100	Bjälklag	1287
Bjälklag träregelstomme Tj 260	Bjälklag	3841
*Yttertak stomme träfackverk, planplåt, sadeltak	Tak	1831

I tabell 6 åskådliggörs att isolering var den resursgrupp som utgjorde den största utsläppsposten i trämodellen med 36 % av de totala utsläppen och 20,4 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>. Platsgjuten betong genererade näst störst klimatavtryck, 23 %. Stål- och plåtprodukter utgjorde en nästan dubbelt så stor utsläppspost i trämodellen som i betongmodellen. Träprodukter genererade 2,2 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> som motsvarade endast 4 % av totala klimatavtrycket.

Tabell 6: Klimatpåverkan allokerad på trämodellens byggresurser i byggskedet.

Byggresurs	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	Klimatpåverkan [%]
Armering	3,2	6
Byggblock	0,1	0
Byggskivor	0,5	1
Platsgjuten betong	13,1	23
Fästdon, beslag, lim och likn.	0,2	0
Gipsskivor	5,0	9
Isolering	20,4	36
Prefabbetong	0,0	0
Stål- och plåtprodukter	7,2	13
Träprodukter	2,2	4
Tätskikt	4,0	7
Totalt	55,8	100

### 5.3 Stål

I modellen med stålstomme utgjordes ytterväggar, bärande innerväggar och bjälklag av stål. I tabell 7 återfinns objekten som "Yttervägg stålregelstomme Tj 461 slitsad, tegel", "Yttervägg stålregelstomme Tj 461 slitsad, tegel, minus isolering" och "Bjälklag TRP-plåt, Tj 444 lägenhetsskiljande". Liksom för trämodellen, modellerades ytterväggar i suterräng och grunden av betong på grund av hållfasthetsskäl. Fasaden bestod av tegel och taket var det samma som i de båda tidigare modellerna, *Yttertak stomme träfackverk, planplåt, sadeltak*. Mineralull användes som isolering i modellen, med undantag för grundisoleringen, som bestod av EPS-cellplast och väggar i suterräng, vars isolering bestod av XPS-cellplast.

Tabell 7: De i stålmodellen ingående objekten, \*innebär att byggdelen används i samtliga modeller.

Namn på objekt	Typ av objekt	Mängd [m <sup>2</sup> ]
*Grundmur betong	Yttervägg	41
*Källarvägg betong Tj 150 under mark + isolering Tj 100	Yttervägg	110
Yttervägg stålregelstomme Tj 461 slitsad, tegel	Yttervägg	1094
Yttervägg stålregelstomme Tj 461 slitsad, tegel, minus isolering	Yttervägg	115
*Stålstomme pelare och balk	Innervägg	492
*Betongbjälklag på mark Tj 200	Bjälklag	522
*Betonggolv på mark Tj 100	Bjälklag	1287
Bjälklag TRP-plåt, Tj 444 lägenhetsskiljande	Bjälklag	3841
*Yttertak stomme träfackverk, planplåt, sadeltak	Tak	1831

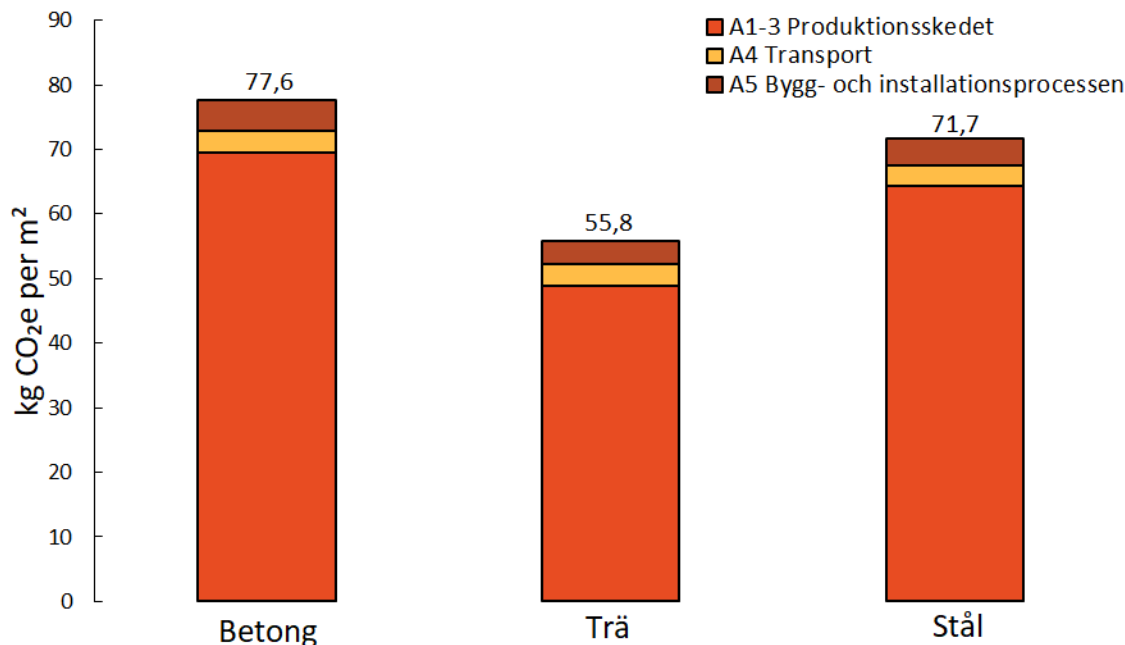
Tabell 8 visar att den byggresurs som genererade mest växthusgasutsläpp var isolering med 39 % och 27,9 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>. Näst störst klimatavtryck genererade stål- och plåtprodukter som genererade 26 % av klimatpåverkan. Det tredje största klimatavtrycket genererade platsgjuten betong, 19 % med 13,4 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>, 0,3 kg mer CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> än i trämodellen. De tre resursgrupper med störst klimatavtryck, isolering, platsgjuten betong och stål- och plåtprodukter, utgjorde tillsammans 72 % av klimatpåverkan.

Tabell 8: Klimatpåverkan allokerad på stålmodellens byggresurser i byggskedet.

Byggresurs	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	Klimatpåverkan [%]
Armering	3,1	4
Byggblock	0,1	0
Byggskivor	0,0	0
Platsgjuten betong	13,4	19
Fästdon, beslag, lim och likn.	0,0	0
Gipsskivor	5,8	8
Isolering	27,9	39
Prefabbetong	0,0	0
Stål- och plåtprodukter	18,8	26
Träprodukter	1,0	1
Tätskikt	1,7	2
Totalt	71,7	100

## 5.4 Jämförelse

Figur 10 visar att betongmodellen genererade mest växthusgasutsläpp per m<sup>2</sup> följt av stålmodellen och minst växthusgasutsläpp genererade trämodellen. De totala utsläppen räknat för hela golvytan (3177 m<sup>2</sup>) blev 247, 177 och 228 ton CO<sub>2</sub>e för betong-, trä-, respektive trämodellen. Det betyder att klimatpåverkan från modellen med trästomme var 28 % lägre än modellen med betongstomme och 22 % lägre än modellen med stålstomme.

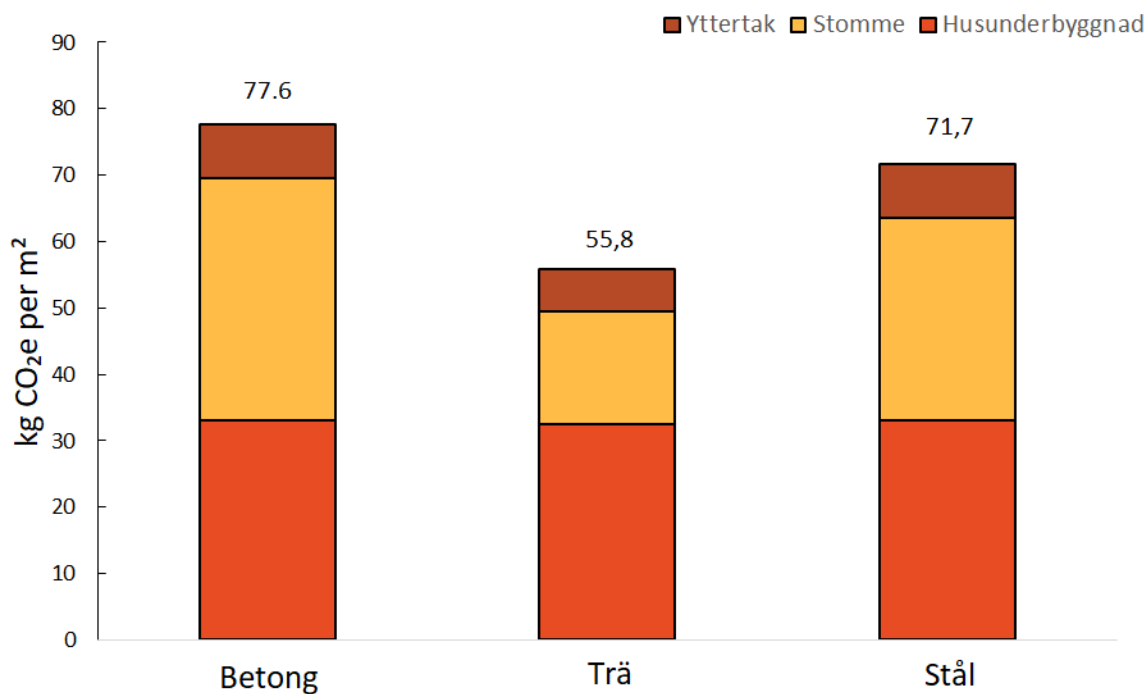


Figur 10: Klimatpåverkan uppdelad på de olika livscykelkedena under byggskedet för de tre modellerna.

Figur 10 och tabell 9 visar att produktionsskedet stod för majoriteten av klimatpåverkan i alla modeller. Produktionskedet stod för 90 % av klimatpåverkan i betong- och stålmodellen och 88 % i trämodellen. Transport genererade 4 % av klimatpåverkan i betong och stålmodellen medan den stod för 6% av trämodellens klimatpåverkan. Bygg och installationsprocessen genererade 6 % av klimatavtrycket för samtliga modeller. Noterbart är att de olika livscykelkedena inbördes genererade lika stora andelar växthusgasutsläpp i betong- och stålmodellen.

Tabell 9: Klimatpåverkan uppdelat på livscykelkedena för de båda modellerna.

Livscykelkede	Betongstomme		Trästomme		Stålstomme	
	[kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	[%]	[kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	[%]	[kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	[%]
A1-3 Produktskedet	69,5	90	48,9	88	64,3	90
A4 Transport	3,4	4	3,3	6	3,2	4
A5 Bygg- och installation	4,7	6	3,6	6	4,2	6



Figur 11: Jämförelse mellan de tre modellernas byggprojektdelar.

Figur 11 visar att husunderbyggnaden genererade liknande klimatavtryck i samtliga modeller medan stommen var den byggprojektdel med störst variation. Tabell 10 visar att stommen stod för, nästan hälften av klimatavtrycket för betongmodellen. För modellerna med stålstomme och trästomme var det istället husunderbyggnaden som genererade störst klimatpåverkan. I trämodellen stod husunderbyggnaden för 58 % av växthusgasutsläppen och i stålmodellen stod husunderbyggnaden för knappt hälften av utsläppen. Husunderbyggnaden genererade ungefär lika mycket växthusgasutsläpp i samtliga modeller, dock ett halvt kilo CO<sub>2</sub>e mindre per m<sup>2</sup> i trämodellen än i de andra två modellerna. Grunden stod för knappt hälften av klimatavtrycket i stålmodellen och betongmodellen medan den stod för drygt hälften av klimatpåverkan i trämodellen till följd av ett mindre totalt klimatavtryck. Det stommateriale som genererade mest växthusgasutsläpp var betongstommen med 36,5 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> följt av stålstommen med 30,6 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> en skillnad på 16 %. Minst växthusgasutsläpp genererade trästommen med 16,9 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>, en skillnad på 54 % i förhållande till betongstommen. Taket i betongmodellen samt stålmodellen genererade båda 8,1 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> medan det i trämodellen genererade 6,4 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> en skillnad på 21 %. Till följd av att cellulosaisoleringen erhöll ett GWP-värde som var lägre än GWP-värdet för mineralull.

Tabell 10: Klimatpåverkan från modellernas byggprojektdelar i byggskedet.

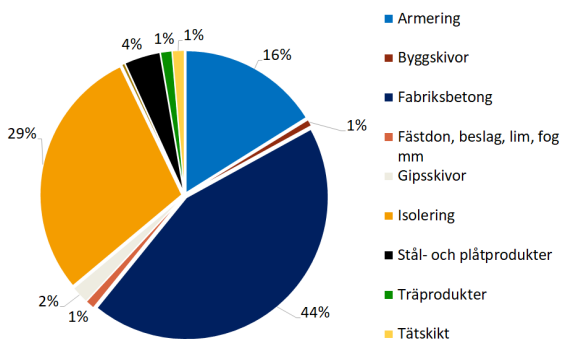
Byggprojektdel	Betongstomme		Trästomme		Stålstomme	
	[kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	[%]	[kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	[%]	[kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	[%]
Stomme	36,5	47	16,9	30	30,6	43
Husunderbyggnad	33,0	43	32,5	58	33,0	46
Tak	8,1	10	6,4	12	8,1	11
Totalt	77,6	100	55,8	100	71,7	100

Figur 13 och 14 visar att i både trämodellen och stålmodellen var isolering den resursgrupp som genererade störst klimatavtryck med 36 %, respektive 39 % av de totala klimatavtrycken. Noterbart är att isoleringen i trämodellen utgjordes av cellulosaisolering medan isoleringen i stålmodellen bestod av mineralull. Undantagen var delar av grundplattan som isolerats med EPS-cellplast och ytterväggar i suterräng som isolerats med XPS-cellplast i samtliga modeller. Isolering stod för 36 % av klimatpåverkan i trämodellen med endast för 20,4 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> medan stålmodellens

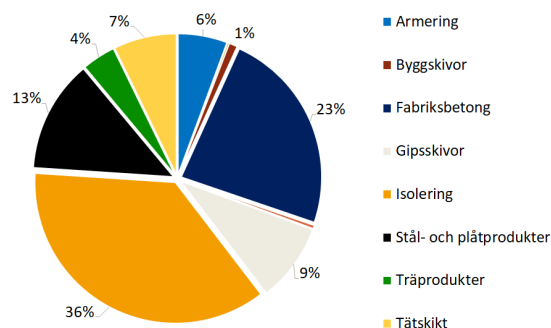
isolering stod för 39 % och 27,9 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> av klimatavtrycket. I betongmodellen genererade isolering 22,5 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>, något mer än trämodellen. Figur 12 visar att isolering utgjorde 29 % av klimatpåverkan i betongmodellen. Det gjorde isolering till den byggresursgruppen med näst störst klimatavtryck i modellen. Stört klimatavtryck i betongmodellen hade platsgjuten betong med 44 % av det totala klimatavtrycket, vilket svarade mot 34,1 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>. I figur 13 är platsgjuten betong den byggresursgruppen med näst störst klimatavtryck i trämodellen, 27 %. Tabell 11 visar att resursgruppen med näst störst bidrag till klimatpåverkan i stålmodellen var stål- och plåtprodukter med ett 26 % stort bidrag till modellens totala klimatavtryck, vilket motsvarar 18,8 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>. Platsgjuten betong gav det tredje största klimatavtrycket för stålmodellen med 19 %. Betongmodellens resursgrupp med tredje störst klimatavtryck var armering då den utgjorde 16 % av modellens klimatpåverkan med 12,6 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup>.

Tabell 11: Klimatpåverkan allokerad på byggresurserna i byggskedet.

Byggresurs	Betong [kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	Trä [kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]	Stål [kg CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> ]
Armering	12,6	3,2	3,1
Byggblock	0,1	0,1	0,1
Byggskivor	0,4	0,5	0,0
Platsgjuten betong	34,1	13,1	13,4
Fästdon, beslag, lim och likn.	0,8	0,2	0,0
Gipsskivor	1,6	5,0	5,8
Isolering	22,5	20,4	27,9
Prefabbetong	0,3	0,0	0,0
Stål- och plåtprodukter	3,2	7,2	18,8
Träprodukter	1,0	2,2	1,0
Tätskikt	1,1	4,0	1,7
<b>Totalt</b>	<b>77,6</b>	<b>55,8</b>	<b>71,7</b>

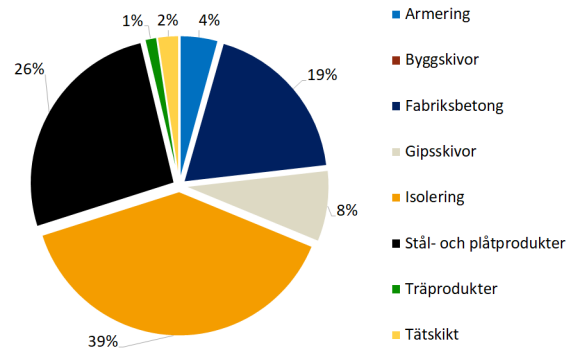


Figur 12: Klimatpåverkan per m<sup>2</sup> uppdelad på resursgrupperna i modellen med betongstomme.



Figur 13: Klimatpåverkan per m<sup>2</sup> uppdelad på resursgrupperna i modellen med trästomme





Figur 14: Klimatpåverkan per m<sup>2</sup> uppdelad på resursgrupperna i modellen med stålstomme

En grov kostnadsuppskattning gavs för de tre olika modellerna. Uppskattningen gäller bara den specifika utformningen som BIM-modellen hade och den bygger på ett tre år gammalt prisregister för byggdelar. Det kan ändå nämnas att trämodellen var den billigaste att bygga för cirka 13 miljoner kronor, därefter stålmodellen med 15,8 miljoner kronor och dyrast var betongmodellen med 18,6 miljoner kronor.

## 6 Diskussion

*I det här kapitlet diskuteras studiens empiriska resultat i förhållande till teori, tidigare studier och metod.*

Modelleringsstudien visade att stommen orsakade den inbördes största klimatpåverkan av de tre byggprojektdelarna, tak, husunderbyggnad och stomme, i två av modellerna, betongmodellen och trämodellen. Trästommens 16,9 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> var 54 % lägre än betongstommens 36,5 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> inbördes i modellerna så stod de för 30 % respektive 47 % av det totalt klimatavtryck hos modellerna. I stålmodellen stod stommen för 30,6 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> vilket motsvarade 43 % av klimatpåverkan i modellen. Alltså genererade stommen av trä minst växthusgasutsläpp följt av stommen av stål och mest genererade stommen av betong. Att trästommen orsakar minst klimatavtryck ter sig rimligt, då träprodukter skapas till lite energi och då trä är en förnybar resurs som binder in CO<sub>2</sub> under sin tillväxt vilket även Börjesson m. fl. (2000) och Gustavsson m. fl. (2006) påvisade. Att betongstommen var den stomme som genererade mest utsläpp ter sig även det rimligt, då stommen är en massiv konstruktion som involverar stora mängder cement, vilket producerar stora CO<sub>2</sub>-utsläpp vid produktion.

Grunden genererade liknande växthusgasutsläpp i samtliga modeller. Endast ett halv kilo CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> skiljde mellan modellerna, vilket beror på att till största del samma byggdelsrecept användes. Betong och isolering var de två resursgrupper med störst klimatpåverkan i alla modeller fränsett stålmodellen där stål- och plåtprodukter gav näst störst klimatavtryck efter isolering. Eftersom husunderbyggnaden till stor del består av just betong och isolering så föreligger grundens stora klimatpåverkan rimlig. Det betyder också att det finns stora potentiella klimatvinster att göra i grunden, till exempel med hjälp av klimatförbättrade betongrecept och återvunnet material i EPS-cellplasten. Enligt tidigare studier kan runt hälften av klimatpåverkan från betong elimineras med hjälp av klimatförbättrade betongrecept och alternativa utformningar, det skapar stora möjligheter till betydande utsläppsminskningar av växthusgaser. Taket genererade cirka 8 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> i både betongmodellen och stålmodellen. I trämodellen genererade den en femtedel mindre växthusgasutsläpp. Anledningen till denna minskning är typen av isolering, då en betydande del av taket utgörs av isolering. Cellulosaisolering användes i trämodellen till skillnad från stål- och betongmodellen där mineralull istället användes. Anledningen till att trämodellen modellerades med cellulosaisolering var att skapa en modell med delar som härstammar från trä i så stor utsträckning som möjligt. Resultatet går i linje med Österberg (2014) som visade att cellulosaisolering genererade flera gånger mindre CO<sub>2</sub>-utsläpp än mineralull.

Resultaten visar tydliga skillnader i växthusgasutsläpp kopplade till materialval i byggskedet. En stomme av ett visst material innebär inte att hela byggnaden är byggd av samma material. I trämodellen bestod stora delar av byggnaden av samma byggresurser som i de andra två modellerna, som till exempel, grundkonstruktionen av betong eller taket av trä och plåt. Trots stora gemensamma utsläppsposter syntes tydliga skillnader i växthusgasutsläpp mellan de olika modellerna. Resultaten visade att genom att byta typ av isolering och material för konstruktion av stomme från betong till trä, skedde en 28 % minskning av växthusgasutsläpp. Dessa beräkningar härstammar ursprungligen från en översiktlig arkitekturmodell, vilken producerats tidigt i ett byggprojekt. En klar fördel med att få tillgång till en modell av byggnaden så pass tidigt är att många aspekter ännu ej är bestämda, vilket skapar möjligheten att informera och erbjuda flera alternativ av material till konstruktion av stomme vilket även Basbagill m. fl. (2013) fann i sin studie om LCA i tidiga skeden. Modellen ger inga exakta utsläppsvärden i det här stadiet men det ger en fingervisning innan tid och pengar investerats i att föra projektet i en viss riktning med bestämd stomme och givna mått. Då materialproducenter och leverantörer är upphandlade kan specifika transportsценарion tillämpas i BM 1.0. Då byggskedet är avklarat och användningsskedet är påbörjat kan exakta spillfraktioner läggas in för varje byggresurs förutsatt att spill dokumenteras. Om klimatberäkningarna endast utförs i ett såpass sent skede av byggprocessen, kommer exaktheten i beräkningar till priset av minskade förändringsmöjligheter och högre kostnad för förändringarna, vilket även Energimyndigheten (2020) menar.

Resultaten visade att mellan 89–91 % av klimatavtrycket i byggskedet genererades i informationsmodul A1–3 (produktionsskedet). Detta ligger i samma storleksordning som Liljenström m. fl. (2015) som menar att upp till 85 % av klimatpåverkan i byggskedet (A1-5), kan komma från produktionsskedet. De transport- och spillscenariorna som avgjorde storleken på informationsmodul A4 och A5 var generella och kopplade till de LCA-data som valdes för vare byggresurs. Om studien skulle ha genomförts i ett senare stadie, efter byggskedet och god dokumentation funnits kring var alla byggresurser härstammade ifrån, kunde ett mer exakt värde tilldelats dessa informationsmoduler. Å andra sidan skulle en del av projektets syfte vara till intet i det stadiet, då studien ämnar verka som ett beslutsunderlag för

materialval för att minska byggprojektets klimatavtryck. Det betyder att med metoden som ett utvärderingsverktyg skulle resultaten vara mer exakta under förutsättningen att spill och inköp är väl dokumenterade.

Väldigt precisa resultat erhålls om klimatberäkningarna utförs under byggnadens användningsskede men möjligheterna att byta konstruktionsmaterial är praktiskt taget obefintliga. Om klimatberäkningarna utförs under byggskedet erhålls precisa beräkningar. Möjligheten till att göra förändringar i konstruktionen och göra materialval finns därför i teorin men, blir för dyrt i praktiken, då det i princip kräver att den största delen av byggprocessen måste göras om. Under projekteringens senare del sker konstruktionsarbetet och dimensionering med sådan noggrannhet att bindande anbud kan lämnas. Här bestäms konstruktioner, produkter och systemlösningar. Om klimatberäkningarna sker efter detta, kommer de med stor sannolikhet inte ha någon effekt på byggnadens utformning. Om de däremot sker i ett tidigt stadie av projekteringen innan systemhandlingen produceras, finns goda möjligheter att resultaten kan användas i beslutsprocessen för val av stomsystem och materialval. Om klimatberäkningarna sker under förstudie eller programskedet är de gjorda till en låg kostnad och de kan nyttjas som beslutsunderlag i projekteringen. Även Basbagill m. fl. (2013) visade att en tidigt genomförd LCA utgör ett stöd för de tidiga utformningsbeslut som så kraftigt avgör byggnadens klimatpåverkan. En grov kostnadsuppskattning ges för modellens specifika utformning och klimatbetäckningarna är inte exakta i ett så tidigt skede men de visar på en så pass stor skillnad i växthusgasutsläpp mellan olika stombyggnadsmaterial att de kan agera som beslutsunderlag. Om dessutom modellerna uppdateras längs projektets gång med produktspecifika EPD:er och värden för spill och transport, kan en klimatdeklaration produceras och användas som facit till de ursprungliga beräkningarna. På så sätt kan korrigeringar göras i den ursprungliga modellen för att minska metodens osäkerhet för kommande projekt.

Wang m. fl. (2005) använde BIM och LCA tillsammans med mjukvaruoptimering och kunde på så sätt kraftigt sänka byggnaders klimatpåverkan. Även den här studien sammanfogade BIM och LCA-programvara för att uppnå sitt syfte. Programvaran som använts i studien för att hantera BIM var kalkylprogrammet VICO Office och LCA-verktyget som användes var BM 1.0. Arbetsgången fungerade smidigt och kompatibiliteten mellan programmen var hög. Informationsöverföringen mellan programmen skedde med hjälp av en Excel-fil. Teknologin enligt Task-teknology fit teorin, det vill säga programvaran som användes, hade egenskaper som i hög grad stämde överens med uppgiftens krav för att kunna beräkna och jämföra växthusgasutsläpp relaterade till materialval i ett tidigt skede i byggprocessen. Det krävdes viss kunskap om byggnader och klassificeringen av byggdelar för att kunna finna rätt byggdelar i det receptregister som användes. Något som hade höjt graden av passform ytterligare mellan teknologin och uppgiften skulle vara om den manuella kopplingen av LCA-data i ett senare skede skulle ske automatiskt, genom att till exempel produkttillverkarna tillhandahöll EPD:er till BM 1.0 som kopplades automatiskt. Men redan som teknologin ser ut idag, kan klimatberäkningar produceras på kort tid och utan expertkompetens, vilket betyder att de produceras till låg kostnad. I takt med att klimatfrågan aktualiseras och lagkrav inträder, är det troligt att klimatberäkningar kommer att efterfrågas i en accelererande takt. Då klimatberäkningarnas efterfrågade egenskaper stämmer bra överens med egenskaperna i teknologin som användes, erhålls en god task-teknology fit enligt Goodhue m. fl. (1995). Effektiviteten i arbetssättet var hög då goda resultat gavs i utbyte mot lite arbete. Prestandan kommer troligen öka ytterligare kommande år, då efterfrågan och marknaden blir större och verktyget utvecklas för att ta marknadsandelar. Det är även troligt att användningsgraden kommer öka med lagkrav på klimatdeklaration. Enligt Yang m. fl. (2018) anses BIM inneha en enorm potential att förbättra informationsflödet genom en byggnads livscykel vilket kraftigt ökar representativiteten för den undersökte byggnaden samtidigt som tidsåtgången minskar för arbetet med att sammanställa resursflöden. Resonemanget stöds av den här studien då fallstudiens LCI genomfördes med mindre arbete och troligtvis med mer korrekta resultat än om inte en BIM-modell hade använts till förmån av CAD eller fysiska ritningar. Något som ytterligare kan indikera på att resonemanget kring att producera klimatberäkningar med hjälp av BIM och LCA i tidiga skeden är korrekt, är det låga priset vilket klimatberäkningarna produceras för. Låg arbetsåtgång och förhållandevis simpelt förfarande gör att priset för klimatberäkningarna blir lågt. Eftersom det går att tillämpa permanenta kopplingar mellan byggresurs och LCA-data i klimatberäkningsverktyget, minskar tiden för manuell resurskoppling med varje projekt. De av Boverket (2018) uppskattade 120–241 timmarna för utförandet av en klimatdeklaration är enligt denna studie en hög uppskattning. Tidsåtgången är givetvis beroende av många aspekter, så som modellens komplexitet, speciella funktionalitetskrav på byggnaden och inte minst hur informationsunderlaget i BIM-modellen ser ut. Men med en väldokumenterad BIM-modell och en person som är kunnig på området bör tiden för att skapa en klimatdeklaration kunna minskas. Eftersom längre tid är lika med högre kostnad är det viktigt att klimatberäkningarna kan genomföras på kort tid. Inte minst då frågan om vem som bär ansvaret för att upprätta klimatdeklarationen kan vara diffus. Vid en totalentreprenad kan en bättre översikt ges av hela projektet och en tidigt utförd klimatberäkning kan planeras in.

Men då flera entreprenader och aktörer är delansvariga för ett projekt finns risk att ansvaret för klimatberäkningarna faller mellan stolarna. Varpå de utförs i ett senare skede där de inte kan nyttjas som beslutsunderlag. Det betyder att beräkningarna blir dyrare och inte fyller något ytterligare syfte än att uppfylla lagkravet på klimatdeklaration.

Standarderna för utvärdering av miljöprestanda i byggnader EN 15978 och i byggprodukter EN 15804 tar inte hänsyn till flöden av biogent kol i inventeringsprocessen, på grund av risken för missvisande siffror, då endast vissa delar av byggnaders och byggprodukters livscyklar undersöks enligt M. Larsson m. fl. (2016). Oron kan anses befogad för att inte produkter ska ge falska förhoppningar och målas upp som lösningen på den globala uppvärmningen, om exempelvis endast ett stadie i produktens livscykel binder mer CO<sub>2</sub> än den släpper ut och ett senare stadium släpper ut samma bundna mängd. Men en viktig aspekt som inte vägs in i resonemanget är tiden för utsläppen. Om CO<sub>2</sub>-utsläppen sker någon gång mellan 50 och 100 år efter att CO<sub>2</sub>:n bundits in i konstruktionsmaterialet, utgör en byggnad av konstruktionsmaterialet en mänskligt skapad kolsänka. Ett exempel på en sådan kolsänka är om träd används till konstruktionsmaterial. Det går att motivera att alla processer som minskar CO<sub>2</sub> i atmosfären genom att öka storleken på en annan sänka kan anses vara något positivt och en liten del av lösningen på den förhöjda växthuseffekten. Forskning pågår för att ta fram metoder som utvinnet CO<sub>2</sub> ur atmosfären och lagrar den på så sätt att den tas ur den naturliga kolcykeln. Likt fossilt kol som tagits ur sitt naturliga kretslopp för att stanna på en semipermanent anhalt. Att skapa en sänka är inte samma sak som att ta kolet ur kolcykeln men det innebär att kolet för en viss tid finns någon annanstans än i atmosfären där den driver på klimatförändringarna. Om vi dessutom ökar storleken på denna kolsänka som tar CO<sub>2</sub> ur luften så har vi skapat en process som aktivt sänker halterna växthusgaser i atmosfären och minskar växthuseffekten, så länge kolsänkan växer. Den Svenska skogsvårdslagen kräver återplantering efter avverkning för att bibehålla samma eller en ökande biomassa i skogen. Delvis till följd av skogsvårdslagen har virkesförrådet i svensk skog, alltså antalet kubikmeter ved, stadigt ökat sedan 1920-talet. Det innebär att den svenska skogen i form av kolsänka har dubblats i storlek genom att ta CO<sub>2</sub> ifrån atmosfären för tillväxt. En framtida ökad produktion av konstruktionsträ skulle även innebära att skogen blev mer intensivt brukad. Det för med sig att skogen binder in mer CO<sub>2</sub> i sin biomassa under sin livstid enligt studier på området. Det betyder enligt resonemanget ovan att de två kolsänkorna, trä i byggnader och träd i skogen, växer snabbare och blir större. Denna positiva effekt på klimatförändringarna går i linje med resultaten från studien av S. Larsson m. fl. (2008) som påvisade en mycket positiv effekt på klimatförändringarna till följd av intensifierat skogsbruk. Men det ska noteras att de positiva effekterna i studien endast gäller miljöpåverkanskategorin klimatförändring. Effekter av intensifierat skogsbruk på bland annat biodiversiteten och näringsläckage till vattendrag och sjöar är negativa enligt samma studie. Även Larsson m. fl. (2011) fann att biodiversiteten påverkades negativt av skogsbruket, tre av fyra rödlistade skogsarter är rödlistade till följd av skogsbruket. Fullständiga effekter av en förändring i ett ekosystem är ofta svåra att förutse då näringsvävarna och orsak-verkan sambanden ofta är väldigt komplexa. Det är därför viktigt att studera ekosystemet och dess förändringar utförligt. Å andra sidan går det att argumentera att hotet från klimatförändringarna utgör de största och mest akuta hotet mot många nu levande växt- och djurarter, däribland människan. Det medför att en prioritering av sänkta växthusgasutsläpp därför borde ske oavsett följder. Resonemanget följer Intergovernmental Panel on Climate Change (2015) som menar att klimatförändringarna begränsar möjliga vägar för utveckling och till och med kan komma att omöjliggöra en hållbar framtid med många svåra etiska val att göra till följd. Då både byggande med trä som konstruktionsmaterial och skogsvolymen har en stadigt uppgående trend innebär det att dessa två kolsänkor ökar i storlek och sänker CO<sub>2</sub>-halten i atmosfären. Med effekten av växande kolsänkor ej inräknade i modelleringsstudien finns det skäl att misstänka att klimatavtrycket för modellen med trästomme egentligen är mindre. Det skulle betyda att skillnaden på klimatavtrycken mellan trämodellen och de andra två modellerna, som var konstruerade med icke förnybara konstruktionsmaterial, de facto är ännu större.

## 6.1 Metodkritik

En faktor som starkt påverkar reliabiliteten i teststudien är hur pass bra de olika BIM-objekten (byggdelarna) i modellen är uppmärksatta med BSAB-koder eller annat system som ger samma information. Då koderna finns på plats, behövs avsevärt mindre kunskap från personen som utför klimatberäkningarna, rörande konstruktion och arkitektur. Detta följer då varje objekt tilldelats en klass som säger vad det är för typ av byggdel samt om den är bärande eller inte. Om koden inte finns för objektet krävs kunskap om 3D-modeller samt arkitektur för att kunna avgöra vad det är för sorts byggdel samt om den är bärande eller ej, vilket skulle sänka metodens reliabilitet.

Förutsatt att studien genomförs i ett tidigt stadium av byggprocessen, krävs en kommunikation med arkitekten som skapat modellen för att erhålla tilläggsinformation om byggdelarna. Information om sådant som fasadtyp och om vissa

konstruktioner i byggnaden har specifika hållfasthets-/materialkrav är i tidiga skeden ofta ej inlagt i informationen om byggdelen. Detta ökar vikten av en god kommunikation med arkitekten för att korrekt recept till byggdelen skall väljas och modelleringen erhålla hög reliabilitet.

En potentiellt stor källa till sänkt reliabilitet är bristen på inlagda EPD:er i BM 1.0. Eftersom manuell koppling av resurser till generisk LCA-data krävs då EPD:n saknas i BM 1.0, utförs ett subjektivt val av LCA-data. Då endast ett begränsat antal val av LCA-data finns tillgängliga samt begränsad information om resursen i fråga, finns risken att inte samma val görs av olika personer. Vidare finns även risken att samma person i samma studie väljer olika LCA-data för samma resurs i olika modeller till följd av att det ofta finns fler än 100 resurser med begränsad information att koppla samman med generisk LCA-data. En metod för att minska osäkerheten i detta moment är att göra en så kallad "global mappning". Det innebär att alla resurser med samma resurskod som importerats i programmet kommer att tilldelas samma generiska LCA-data. På så sätt ökar reliabiliteten med varje projekt som involverar en ny typ av resurs.

Modellens representativitet avgörs av ett flertal olika faktorer. En faktor som har betydelse är hur pass färdigutvecklad BIM-modellen är. Om inga justeringar görs efter beräkningarna av växthusgasutsläppen kan modellen anses giltig. Om förändringar görs på byggnaden blir dock modellen mindre representativ. Det är i ett sådant fall möjligt att enkelt uppdatera modellen i VICO för att få nya mängder och en ny resurssammanställning, vilket är viktigt för representativiteten. En annan faktor som påverkar validiteten är vilken detaljnivå som omfattas. De stora utsläppsposterna finns i byggnadens stomme och husunderbyggnad, något som ofta är bestämt tidigt i projektet. Utbudet av stommar i receptregistret är stort och återspeglar verkligheten väl. Om högre detaljnivå skulle återges i modellen och stomkomplettering inkluderas, skulle antalet möjliga alternativ för varje byggdela öka. Därmed skulle receptregistret återspegla verkligheten sämre och metodens representativitet skulle sjunka.

I den här studien utfördes ingen känslighetsanalys. En sådan hade potentiellt kunna bidra till insikter om studiens generaliserbarhet och hittat specifika resurser som påverkade resultatet i stor utsträckning. Det hade till exempel varit intressant att modellera byggnaden i flera versioner av samma material, för att jämföra hur stor vikt byggdelsrecepten hade. Ett sådant intressant fall hade varit att undersöka hur klimatpåverkan för betongmodellen förändrades om den modellerats med filegarn element istället för den använda betonglösningen. Ett annat intressant exempel hade varit en massiv konstruktion av trä istället för trereglar. Det lämnar utrymme för fortsatta studier på området.

## 6.2 Förslag till vidare studier

Fler studier som undersöker materialval i byggnader skulle behövas för att säkerställa resultaten. Studier som undersöker materialval i flera olika typer av byggnader av varierande utformningar, storlekar, geometrier och placeringar skulle leda till att slutsatserna om materialvalens påverkan, kunde utvidgas och tillämpas på ett bredare spektrum av byggnader eller begränsas till den undersökta byggnaden. Ytterligare studier som undersöker materialvals påverkan på olika typer av husstommar skulle ge en bredare förståelse för om resultaten var generaliserbara eller specifika för stomtypen. Då vissa byggnader eller delar av byggnader som till exempel grunden har andra krav på fuktavvisning, fyller fortfarande betong en funktion. Det skulle därför behövas fler studier på olika typer av klimatförbättrade icke-förnybara resurser, som betong eller stål, för att fylla specifika behov och nischer i byggnader. Studier som nyttjar andra klimatberäkningsverktyg vilka bygger på andra LCA-standarder än EN 15978 och EN 15804 skulle bidra till en mer nyanserad bild då olika standarder, som till exempel ISO 21930, hanterar flöden av biogent kol på olika sätt. Dessa studier skulle ge olika resultat beroende på vilka stadier av livscykeln som inkluderades och slutsatser dras från det.

## 7 Slutsatser

*I denna del besvaras frågeställningarna kortfattat och behandlas i relation till rapportens syfte.*

### **Vilka materialval leder till den största utsläppsminskningen och vilka delar i byggnaden ger störst utsläppsminskning då ett lågemissions-alternativ valts?**

- Av de tre undersökta materialen för stombyggnad genererade trä minst utsläpp av växthusgaser och den typ av isolering som genererade minst utsläpp av växthusgaser var cellulosaisolering.
- Den byggprojektdel som erhöll störst variation i utsläpp av växthusgaser var stommen, då den genererade 54 % och 45 % mer växthusgaser när den modellerades med betong respektive stål istället för trä.

### **Kan digitala byggnadsinformationsmodeller och Byggsektorns miljöberäkningsverktyg användas tillsammans för att minska mängden utsläppta CO<sub>2</sub>e under byggskedet och i så fall hur?**

- Ja. Genom att utföra klimatberäkningar av olika konstruktionsalternativ i tidiga skeden så erhålls ett prisvärt beslutsunderlag som tydligt visar var de största utsläppen finns koncentrerade.
- Genom att i tidiga skeden belysa och på ett överblickbart sätt presentera materialvals påverkan på klimatavtrycket kan CO<sub>2</sub>-vinster göras till ett lågt pris.

### **När i byggnadsprocessen bör modelleringen ske för att uppnå största möjliga utsläppsminskningar till minsta möjliga arbete?**

- Resultaten av denna studie bekräftar tidigare studiers (Basbagill m. fl., 2013), att för att klimatberäkningar i praktiken ska kunna fungera som beslutsunderlag, krävs att de utförs i ett tidigt skede då priset för ändringar i planerna är avsevärt mycket lägre än i senare skeden. Därför bör klimatberäkningen göras så fort en översiktlig arkitekturmodell börjar tas fram.

Att genomföra klimatberäkningar på planerade byggnader är något som kraftigt kommer öka de närmsta åren i Sverige, inte minst på grund av det kommande lagkravet på klimatdeklaration. För att fullt dra nytta av klimatberäkningarna och kunna använda dem som beslutsunderlag i projekteringen, bör de genomföras direkt när en översiktlig arkitekturmodell är skapad i form av en BIM-modell. Versioner av byggnaden med olika typer av stommar och olika material skapas till förhållandevis lite arbete på kort tid under tidigt programskede. En grov kostnadsuppskattning ges tillsammans med mer exakta utsläppsberäkningar gällande växthusgaser. Om dessutom BIM-modellen hålls uppdaterad genom projektets gång tills att byggnaden står på plats, kan exakta klimatberäkningar tas fram och jämföras med de ursprungliga beräkningarna från programskedet. Det gör att en kunskapsbank successivt byggs upp och beräkningar i programskedet hela tiden blir mer exakta med varje projekt. Vidare studier på området behövs för att undersöka om resultaten i den här studien är generaliserbara eller specifika för den undersökta byggnaden.

## Referenser

- Adalberth, K. (2000). *Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings*. ISBN: 9188722201.
- Aktas, C. B. och M. M. Bilec (2012). "Impact of lifetime on US residential building LCA results". I: *International Journal of Life Cycle Assessment* 17.3, s. 337–349. ISSN: 09483349. DOI: 10.1007/s11367-011-0363-x.
- Azhar, S., M. Khalfan och T. Maqsood (2012). "Building information modeling (BIM): Now and beyond". I: *Australasian Journal of Construction Economics and Building* 12.4, s. 15–28. ISSN: 18379133. DOI: 10.5130/ajceb.v12i4.3032. URL: file:///C:/Users/vince/Downloads/3032-Article%20Text-12538-1-10-20121205.pdf.
- Barcelo, L. m. fl. (2014). "Cement and carbon emissions". I: *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 47.6, s. 1055–1065. ISSN: 13595997. DOI: 10.1617/s11527-013-0114-5.
- Basbagill, J. m. fl. (2013). "Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts". I: *Building and Environment* 60, s. 81–92. ISSN: 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>.
- BIM Alliance (2017). *BIM Alliance om BIM - BIM Alliance*. URL: <https://www.bimalliance.se/vad-aer-bim/bim-alliance-om-bim/>.
- Bokalders, V. och M. Block (2014). *Byggekologi*. 3. utg. Svensk byggtjänst.
- Boverket (2015). *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv*. Tekn. rapport. Karlskrona: Boverket. URL: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/byggnaders-klimatpaverkan-utifran-ett-livscykelperspektiv.pdf>.
- (2018). *Klimatdeklaration av byggnader - Förslag på metod och regler*. Tekn. rapport. Karlskrona: Boverket. URL: <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2018/klimatdeklaration-av-byggnader2/>.
- (2020). *Klimatdeklaration vid uppförande av byggnad - Boverket*. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/klimatdeklaration/>.
- Bralower, T. och D. Bice (2020). *Carbon Dioxide Through Time*. URL: <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/1018>.
- Brand, U. (2010). "Sustainable development and ecological modernization - the limits to a hegemonic policy knowledge". I: *Innovation* 23.2, s. 135–152. ISSN: 13511610. DOI: 10.1080/13511610.2010.522403.
- Brophy, V. och J. O. Lewis (2011). *No Title*. 2. utg. Washington DC: Earthscan. ISBN: 978-1-84971-311-5. URL: [https://www.academia.edu/35978958/A\\_GREEN\\_VITRUVIUS\\_PRINCIPLES\\_AND\\_PRACTICE\\_OF\\_SUSTAINABLE\\_ARCHITECTURAL\\_DESIGN](https://www.academia.edu/35978958/A_GREEN_VITRUVIUS_PRINCIPLES_AND_PRACTICE_OF_SUSTAINABLE_ARCHITECTURAL_DESIGN).
- Börjesson, P. och L. Gustavsson (2000). "Greenhouse gas balances in building construction: Wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives". I: *Energy Policy* 28.9, s. 575–588. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00049-5.
- Cervantes, G. (2013). "An Alternative Definition of Sustainable Development based on Capitals". I: s. 1–11. URL: [http://www.riedesarrollo.org/memorias/2013/mesas/mesa6/6.III.1%20Gemma%20Cervantes\\_An%20alternative%20definition%20of%20sustainable.pdf](http://www.riedesarrollo.org/memorias/2013/mesas/mesa6/6.III.1%20Gemma%20Cervantes_An%20alternative%20definition%20of%20sustainable.pdf).
- Cole, R. J. (1999). "Construction of Alternative Structural Systems". I: *Building and Environment* 34, s. 335–348.
- Elkington, J. (1998). "Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business". I: *Environmental Quality Management* 8.1, s. 37–51. ISSN: 15206483. DOI: 10.1002/tqem.3310080106. URL: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.its.uu.se/doi/pdfdirect/10.1002/tqem.3310080106>.
- Energimyndigheten (2020). *Energilyftet*. URL: <http://energilyftet.learnways.com/Resources/Courses/266/block-3/index.html?v=1531872000034>.
- Eriksson (2015). *NYBYGGNAD AV FÖRSKOLA Inom kv. Rödspåttan nr 5, Kristinehamns kommun*. Tekn. rapport 5.

- Eriksson m. fl. (2007). "Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution". I: *Canadian Journal of Forest Research* 37.3, s. 671–681. ISSN: 00455067. DOI: 10.1139/X06-257.
- Erlandsson (2018). *Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg- BM 1.0*. Tekn. rapport. Stockholm: IVL. URL: <https://www.ivl.se/download/18.2aa2697816097278807e748/1523452093368/C300.pdf>.
- (2019). *Framtidens smarta digitala miljöberäkning (IVL Rapport C 259)*. Tekn. rapport. Stockholm: IVL. URL: <https://www.ivl.se/download/18.57581b9b167ee95ab9918e4/1551434682443/C259.pdf>.
- Erlandsson, M. (2017). *Blå Jungfrun version 2017 med nya cement inklusive potentiella förbättringar och karbonatisering*. Tekn. rapport C 250. Stockholm: IVL. URL: <https://www.ivl.se/download/18.449b1e1115c7dca013adb1d/1498835896953/C%20250.pdf>.
- Erlandsson, K. Byfors och J. S. Lundin (2018). *Byggsektorns historiska klimatpåverkan och en projektion för nära noll (IVL rapport C 277)*. Tekn. rapport. Stockholm: IVL. DOI: 978-91-88787-12-5. URL: [https://www.smartbuilt.se/library/4964/c277-byggsektorns-historiska-klimatpaaverkan-och-en-projektion-foer-naera-noll\\_erlandsson-2018\\_rev.pdf](https://www.smartbuilt.se/library/4964/c277-byggsektorns-historiska-klimatpaaverkan-och-en-projektion-foer-naera-noll_erlandsson-2018_rev.pdf).
- Erlandsson, T. Ekvall m. fl. (2014). *Robust LCA : Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner (IVL Rapport B 2122)*. Tekn. rapport. Stockholm: IVL. URL: [www.boverket.se](http://www.boverket.se), [2020-01-01].
- European Commission (2014). *Resource efficiency opportunities in the building sector*. Bryssel. DOI: 10.1017/CB09781107415324.004. URL: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/EN/1-2014-445-EN-F1-1.Pdf>.
- (2017). *Level(s) - Building sustainability performance*. Tekn. rapport. Bryssel. URL: [http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level\(s\)\\_factsheet-EN-web.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level(s)_factsheet-EN-web.pdf).
- Finansdepartementet (2019). *Uppdrag att förbereda införandet av krav på redovisning av en klimatdeklaration vid uppförande av byggnader*. Stockholm. URL: <https://www.regeringen.se/4adad1/contentassets/52e4d143996a46fb8566bc17c0a2b6f3/uppdrag-att-forbereda-inforandet-av-krav-pa-redovisning-av-en-klimatdeklaration-vid-uppforande-av-byggnader.pdf>.
- Fossilfritt Sverige (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Bygg- och anläggningssektorn*. Tekn. rapport. Stockholm, s. 28. URL: [http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2018/01/ffs\\_bygg\\_anlaggningssektorn181017.pdf](http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2018/01/ffs_bygg_anlaggningssektorn181017.pdf).
- Goodhue, D. L. och R. L. Thompson (1995). "Task-technology fit and individual performance". I: *MIS Quarterly: Management Information Systems* 19.2, s. 213–233. ISSN: 02767783. DOI: 10.2307/249689.
- Gustavsson, L., K. Pingoud och R. Sathre (2006). "Carbon dioxide balance of wood substitution: Comparing concrete- and wood-framed buildings". I: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11.3, s. 667–691. ISSN: 13812386. DOI: 10.1007/s11027-006-7207-1.
- Hardin, B. och D. McCool (2015). *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. 2. utg. Indianapolis: John Wiley & Sons. ISBN: 9789896540821. URL: <http://iibimsolutions.ir/files/BIM/Ebook/BIM%20and%20Construction%20Management-2nd%20edition.pdf>.
- Hilal, M., T. Maqsood och A. Abdekhodae (2019). "A hybrid conceptual model for BIM in FM". I: *Construction Innovation* 19.4, s. 531–549. ISSN: 14770857. DOI: 10.1108/CI-05-2018-0043.
- Hillman, K. m. fl. (2015). *Climate Benefits of Material Recycling*. ISBN: 9789289342179. DOI: 10.6027/tn2015-547.
- Hoxha, E. m. fl. (2017). "Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability". I: *Journal of Cleaner Production* 144, s. 33–47. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.068.
- Häfliger, I. F. m. fl. (2017). "Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials". I: *Journal of Cleaner Production* 156, s. 805–816. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.052.



- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) (1996). *Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC*. Tekn. rapport 9. Cambridge, UK: Cambridge University Press, s. 23–28. DOI: 10.1080/00139159709604766.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2015). *Sustainable Development and Equity*. Tekn. rapport. New York: IPCC, s. 283–350. DOI: 10.1017/cbo9781107415416.010. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter4.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter4.pdf).
- IVA (2014). *Klimatpåverkan från byggprocessen*. Tekn. rapport. Stockholm: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA). URL: <https://www.iva.se/globalassets/rapporter/ett-energieffektivt-samhalle/201406-iva-energieffektivisering-rapport9-i1.pdf>.
- Johansson, K., M. Ekstrand och M. Sparf (2019). *Skogsvårdslagstiftningen Gällande regler 1 april 2019*. april. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISBN: 9789187535147.
- Jormfeldt, J. (2014). ”Miljö och ekonomisk tillväxt: Attityder och samband”. I: 1.1.
- Keeble, B. R. (1988). *The Brundtland Report: 'Our Common Future'*. Tekn. rapport 1. The World Commission on Environment och Development, s. 17–25. DOI: 10.1080/07488008808408783. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.
- Keyes, W. E., I. W. E. Swartz och T. M. Loehr (2015). ”National BIM Standard”. I: *National BIM Standard - United States - Version 3* 17.11, s. 97005. ISSN: 00404039. DOI: 10.1016/S0040-4039(01)82124-9.
- Klimatpolitiska rådet (2020). *Det klimatpolitiska ramverket*. URL: <https://www.klimatpolitiskaradet.se/det-klimatpolitiska-ramverket/>.
- Larsson, M. m. fl. (2016). *Byggandets klimatpåverkan Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä (Rapport Nr B 2260)*. Tekn. rapport. Stockholm: IVL. URL: <https://www.ivl.se/download/18.29aef808155c0d7f05063/1467900250997/B2260.pdf>.
- Larsson, S., T. Lundmark och G. Ståhl (2008). *Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885*. ISBN: 9789186197407.
- Larsson m. fl. (2011). *Rödlistade arter i ett nordiskt perspektiv*. Tekn. rapport. Uppsala: ArtDatabanken SLU. URL: [https://www.artdatabanken.se/globalassets/ew/subw/artd/2.-var-verksamhet/publikationer/6.tillstandet-i-skogen/rapport\\_tillstandet\\_skogen.pdf](https://www.artdatabanken.se/globalassets/ew/subw/artd/2.-var-verksamhet/publikationer/6.tillstandet-i-skogen/rapport_tillstandet_skogen.pdf).
- Lasvaux, S. m. fl. (2014). ”Influence of simplification of life cycle inventories on the accuracy of impact assessment: Application to construction products”. I: *Journal of Cleaner Production* 79, s. 142–151. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.003. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.003>.
- Lee, S., J. Yu och D. Jeong (2015). ”BIM acceptance model in construction organizations”. I: *Journal of Management in Engineering* 31.3, s. 1–13. ISSN: 0742597X. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000252.
- Lidskog, R. m. fl. (2013). ”Intensive forestry in Sweden: stakeholders' evaluation of benefits and risk”. I: *Journal of Integrative Environmental Sciences* 10.3-4, s. 145–160. ISSN: 1943815X. DOI: 10.1080/1943815X.2013.841261.
- Liljenström, C. m. fl. (2015). *Byggandets klimatpåverkan. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong (Rapportnummer B 2217)*. Tekn. rapport. Stockholm: IVL, s. 68. URL: [https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76c4/1445517730807/B2217\\_ME.pdf](https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76c4/1445517730807/B2217_ME.pdf).
- Matthews, S., R. O. Connor och A. J. Plantinga (2002). ”Quantifying the impacts on biodiversity of policies for carbon sequestration in forests”. I: *Matthews et al 2002* 40, s. 71–87. DOI: 10.1016/S0921-8009(01)00269-5. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00269-5%20VN%20-%20readcube.com](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00269-5%20VN%20-%20readcube.com).
- Modin, R. M. och J. Sundberg (2012). *EPS i grund - Värmeledningsförmåga och krypning*. Tekn. rapport. Helsingborg: Bygg och Miljöteknologi/Byggnadsmaterial. URL: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2760007&fileId=8961451>.

- Naturvårdsverket (2019). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatlag-och-klimatpolitiska-ramverk/>.
- (2020). *Parisavtalet*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Parisavtalet/>.
- Ottosson, H. (2015). *Praktisk projektledning inom bygg-, anläggnings- och fastighetsbranschen*. 2. utg. Hässleholm: AB Svensk Byggtjänst, s. 83–98.
- Pravdić, V. (2009). "ECOLOGICAL ECONOMICS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Selected Essays of Herman Daly (Herman E. Daly)". I: *Socijalna ekologija : časopis za ekološku misao i sociologijska istraživanja okoline* 18.3-4, s. 341–346. ISSN: 1330-0113.
- Röck, M. m. fl. (2020). "Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation". I: *Applied Energy* 258.October 2019, s. 114107. ISSN: 03062619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114107. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>.
- Skogsstyrelsen (2014). *Skogsstatistisk årsbok 2014*. Utg. av L. Christiansen. Jönköping. ISBN: 9789187535017. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/historisk-statistik/skogsstatistisk-arsbok-2010-2014/skogsstatistisk-arsbok-2014.pdf>.
- SLU (2019). *Vad är livscykelanalys? | Externwebben*. URL: <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/>.
- Svensk Betong (2017). *Betong och klimat. En rapport om arbetet för klimatneutral betong*. Tekn. rapport. Stockholm: Svensk Betong, s. 1–16. URL: <https://www.svenskbetong.se/klimatrapport>.
- Svensk byggtjänst (2016). *Miljöcertifiering i byggbranschen*. URL: <https://byggtjanst.se/acdmy/en-introduktion-till-miljocertifiering/>.
- Wang, W., R. Zmeureanu och H. Rivard (2005). "Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization". I: *Building and Environment* 40.11, s. 1512–1525. ISSN: 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.11.017.
- Wong, J. K. W. och J. Zhou (2015). "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review". I: *Automation in Construction* 57, s. 156–165. ISSN: 09265805. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.06.003. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>.
- Yang, X. m. fl. (2018). "Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China". I: *Journal of Cleaner Production* 183, s. 729–743. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.070. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.070>.
- Österberg, T. (2014). "Miljöbedömning Termoträ Standard - Miljöbedömning Referensmiljöer för framtidens produkter". I: 1.11. URL: <http://www.termotra.se/Content/123849/Jegrelius-rapport.pdf>.