



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Jämförelse

## av hållbarhets- och miljöaspekter av trä- och betonghusbyggande

Savo Sleman

Masih Afzali

Högskoleexamen inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggteknik med arkitektur

Helsingborg

VT 2023

Kurs: VBEL05 Examensarbete 22,5 hp

Handledare: Torleif Bramryd

Examinator: Urban Persson

## **Förord**

Detta examensarbete är ett avslutande moment i Högscoleingenjörsutbildningen i byggt teknik med arkitektur på Lunds Tekniska Högskola LTH. Arbetet genomfördes under vårterminen 2023, pågick i 12 veckor och omfattar 22,5 högskolepoäng.

Vi, Savo Sleman & Masih Afzali, önskar att uttrycka vår djupaste tacksamhet till vår handledare och examinator, Torleif Bramryd & Urban Persson, för att de stöttade oss fullständigt genom hela processen och var tillgängliga för oss vid varje tillfälle vi behövde hjälp och råd. Deras värdefulla feedback och förslag var ovärderliga för oss under arbetet med denna studie. Vi är verkligen tacksamma för deras oskattbara insatser och stöd.

Helsingborg, maj 2023

*Savo Sleman & Masih Afzali*

## Sammanfattning

Miljövänligt och hållbart byggande har blivit en alltmer betydande fråga både globalt och i Sverige. Med en ökande befolkning och stigande krav på levnadsstandard har behovet av att använda material och resurser ökat avsevärt, vilket har lett till ökade miljöutmaningar. I Sverige står byggsektorn ensam för cirka 21 procent av de totala växthusgasutsläppen, exklusive utsläpp från importerade varor. Detta motsvarar cirka 15,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter sedan år 2020 (Boverket, 2023 a). Dessa siffror understryker behovet av att fokusera på att minska den miljömässiga påverkan och främja hållbarhet inom byggindustrin.

I dagsläget är trä och betong de två vanligaste materialen som används i byggbranschen.

Trä är en viktig sänka för organiskt kol. I ett ekologiskt kretslopp produceras material av naturen, då koldioxid tas upp från atmosfären och kolet binds i glukosmolekyler. Denna egenskap gör trä så värdefull om man bygger med trä eftersom kolet lagras i träet under en lång tid. Användningen av betong däremot sträcker sig tillbaka till 500 f.Kr. under romariket. Betong är ett starkt material med lång livslängd, och till skillnad från andra material har betong ett lågt drift- och underhållsbehov. Med så många fördelar är materialet en populär byggkomponent i byggbranschen.

Miljö- och hållbarhetsaspekter är viktiga för framtiden, och en av de avgörande faktorerna som påverkar dessa två aspekter är valet av byggmaterial. Vi vill med denna studie undersöka och skapa en djupare förståelse kring vardera materials livscykelanalys för LCA-skedena A1-5. Målet är att analysera och utreda vilket av materialen, trä eller betong, som är mest lämpligt som byggmaterial utifrån miljö- och hållbarhetssynpunkt. Undersökningen går ut på att jämföra och analysera två ytterväggar, en med trästomme och en i betong, med hjälp av LCA-beräkningsprogrammet (One Click LCA). Den funktionella enheten för denna studie är i kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter golvyta ( $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ ).

Resultatet i denna studie har framkommit genom en kombination av litteraturstudier och användning av beräkningsprogrammet One Click LCA. Genom litteraturstudierna har mer information samlats in om både betong och trä som byggmaterial, vilket bidrar till en grundlig förståelse av de två materialens egenskaper, styrkor och svagheter. Beräkningarna från (One click LCA) visar tydligt att betongstommen släpper ut mycket mer koldioxid jämfört med trästommen. Betongväggens totala koldioxidutsläpp är  $12150 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ , vilket är nästan dubbelt så högt jämfört med träväggens utsläpp som är på  $6010 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ .

**Sökord:** LCA, Hållbarhet, KL-trä, Miljövänlig betong, Trä - kolsänka, Förnybar material, miljöpåverkan, Koldioxidutsläpp, Hållbar transport.

## Abstract

Environmentally friendly and sustainable construction is an increasingly important matter worldwide and in Sweden. The growing population, coupled with rising demands for living standards, has led to a greater use of materials and goods, resulting in increased environmental problems. In Sweden, the construction sector accounts for approximately 21 percent of total greenhouse gas emissions, excluding emissions from imports, amounting to around 15.9 million tonnes of carbon dioxide equivalents since 2020 (Boverket, 2023). These numbers emphasize the need to focus on reducing environmental impact and promoting sustainability within the construction industry.

Currently, wood and concrete are the two most commonly used materials in the construction industry. Wood is an incredible carbon sink. In the ecological cycle, materials are naturally produced as carbon dioxide is absorbed from the atmosphere and carbon becomes bound in glucose molecules. This characteristic makes wood highly valuable for construction purposes since the carbon remains stored within the wood for an extended period. On the other hand, the use of concrete traces back to 500 BC during the Roman Empire. Concrete is a durable material with an extensive lifespan, and unlike other materials, it requires minimal operating and maintenance efforts. Due to these numerous advantages, concrete is also a favored building component in the construction industry.

As environmental and sustainability considerations are crucial for the future, and the choice of building materials plays a decisive role in these aspects, this study aims to investigate and gain a deeper understanding of the life cycle analysis (LCA) for both materials in stages A1-5. The objective is to analyze and determine which material, wood or concrete, is more suitable as a building material from an environmental and sustainability standpoint. The investigation involves comparing and analyzing two exterior walls: one with a wooden frame and the other with a concrete frame, using the LCA calculation program (One Click LCA). The functional unit for this study is kilograms of carbon dioxide equivalents per square meter of floor area ( $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ ).

The study's results were obtained through a combination of literature review and the use of the One Click LCA calculation program. The literature review provided additional information about concrete and wood as building materials, contributing to a comprehensive understanding of their respective properties, strengths, and weaknesses. The calculations from One Click LCA clearly demonstrate that the concrete frame emits significantly more carbon dioxide than the wooden frame. The total carbon dioxide emissions from the concrete wall are  $12,150 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ , nearly double the emissions of the wooden wall, which amount to  $6,010 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ .

*Keywords:* LCA, Sustainability, CLT, Environmentally friendly concrete, Wood as a carbon sink, Renewable materials, Environmental impact, Carbon emissions, Sustainable transportation.



## Ordlista, Termer och förkortningar

- Byggherre: Det är en person eller företag som ansvarar för att utföra eller anlita andra att utföra ett byggprojekt.
- Elastisk deformation: Elasticitetsgränsen är en materialegenskap som varierar beroende på materialets egenskaper och sammansättning. Det är en typ av deformation som inträffar i material när det belastas, men materialet kan återgå till sin ursprungliga form när belastningen tas bort.
- EPD (specifik klimatdata): Det är förkortning för Environmental product declaration och beskriver en miljöpåverkan för en specifik produkt under hela produktens livscykel.
- Fingerskarvning: Det är en teknik som används för att skapa starka sammanfogningar mellan kortare träbitar. Det innebär att man skär in "fingrar" i ändarna på träbitarna och sätter ihop dem till en längre bit. Det ökar friktionen mellan de två bitarna och skapar en stark sammanfogning.
- Flygaska: Det är en restprodukt från kolpulvereldade kraft- och värmeverk. Den innehåller i huvudsak kiseldioxid.
- Fukthalt (fuktkvot): Det är kvoten av vattnets massa i fuktigt material och massan av materialet i fuktigt tillstånd.
- Generisk data: Det är en generell klimatdata för en produkt eller produktkategori. Dessa generiska data är 25% högre än EPD för samma produkt.
- GWP: Det står för "Global Warming Potential" och det är ett mått på hur mycket ett gas bidrar till växthuseffekten i förhållande till koldioxid.
- Hydratation: Det är en kemisk reaktion som sker när cement och vatten blandas ihop.
- Koldioxidekvivalenter: "Det är ett mått som används för att kunna jämföra olika gasers potentiella klimatpåverkan i relation till motsvarande mängd koldioxid för

användning i bland annat klimatdeklarationer, nationell klimatrapporering och livscykelanalys (LCA)” (Greendesk, 2022).

- LCA: Det är en förkortning för livscykelanalys som avser miljö- och resurspåverkan som en produkt har från extraktion av råvaran till slutprodukten slutbehandlas som avfall eller återförs till naturen för långtidslagring.
- Ljudklass B: Det är en klassificering för att bedöma ljudisoleringen i byggnaden eller ett rum. Där A är den högsta eller den “bästa” ljudisolering och D är den lägsta.
- Permeabilitet: Det är ett poröst mediums genomsläpplighet för en fluid, kan vara vätska eller gas. En hög permeabilitet innebär att materialet är lätt genomsläppligt, medan en låg permeabilitet innebär att materialet har svårt att släppa igenom fluider.
- Plastisk deformation: Det är ett fenomen som inträffar när ett material utsätts för tillräckligt höga belastningar eller spänningar. När ett material når sin flytgräns, vilket är då materialet börjar deformeras permanent. I detta tillstånd återgår materialet inte till sin ursprungliga form när belastningen tas bort.
- Slagg: Det är ett avfallsprodukt som uppstår vid ståltillverkning och har cement egenskaper.
- Tryckimpregnering: Det är en process där trä eller andra material behandlas med ett kemiskt medel under högt tryck för att förbättra dess hållbarhet och motståndskraft mot röta, insekter och väderförhållanden. Tryckimpregnering används ofta för att skydda träkomponenter.
- Vagga till grav: Det är en term som beskriver livscykel av en produkt från återvinning till dess att produkten inte längre har någon funktionell nytta och måste tas hand om.
- Vagga till vagga: Det är ett koncept som handlar om att se en produkts livscykel i ett oändligt system. I byggbranschen tyder den på att återanvända och återvinna produkter i en sluten cirkel, så att de inte blir till avfall.
- VCT: Det är förhållandet mellan vatten och cement i en cementpasta.

- Värmeledningsförmåga (värmekonduktivitet): Det är ett mått på hur effektivt materialet kan överföra värme från en punkt till en annan genom konduktion.



# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>9</b>
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	11
1.3 Frågeställningar	11
1.4 Avgränsningar	11
<b>2. Metod och genomförande</b>	<b>12</b>
2.1 Forskningsmetod	12
2.2 Tidigare undersökning	12
2.3 Litteraturstudie	13
2.4 One Click LCA	13
2.5 Olika väggkonstruktion	13
2.5.1 Träkonstruktion	14
2.5.2 Betongkonstruktion	15
<b>3. Teori</b>	<b>16</b>
3.1 Materialegenskaper	16
3.1.1 Trä som ett klimatsmart byggmaterial	16
3.1.1.1 Korslimmat trä (KL/CLT)	19
3.1.2 Betong som ett hållbart byggmaterial	20
3.2 Livscykelanalys (LCA)	25
3.3 Klimatdeklaration	27
3.4 Beskrivning av materialens livscykel	28
3.4.1 Träs livscykel	29
3.4.2 Betongs livscykel	34
<b>4. Resultat</b>	<b>37</b>
4.1 Genomförandet av One Click LCA	38
4.2 Resultat av träkonstruktion (One Click LCA)	41
4.3 Resultat av betongkonstruktion (One Click LCA)	45
<b>5. Diskussion</b>	<b>49</b>
<b>6. Slutsats</b>	<b>53</b>
<b>7. Förslag på vidare studier</b>	<b>54</b>
<b>Referenser</b>	<b>55</b>
<b>Bilagor</b>	<b>60</b>

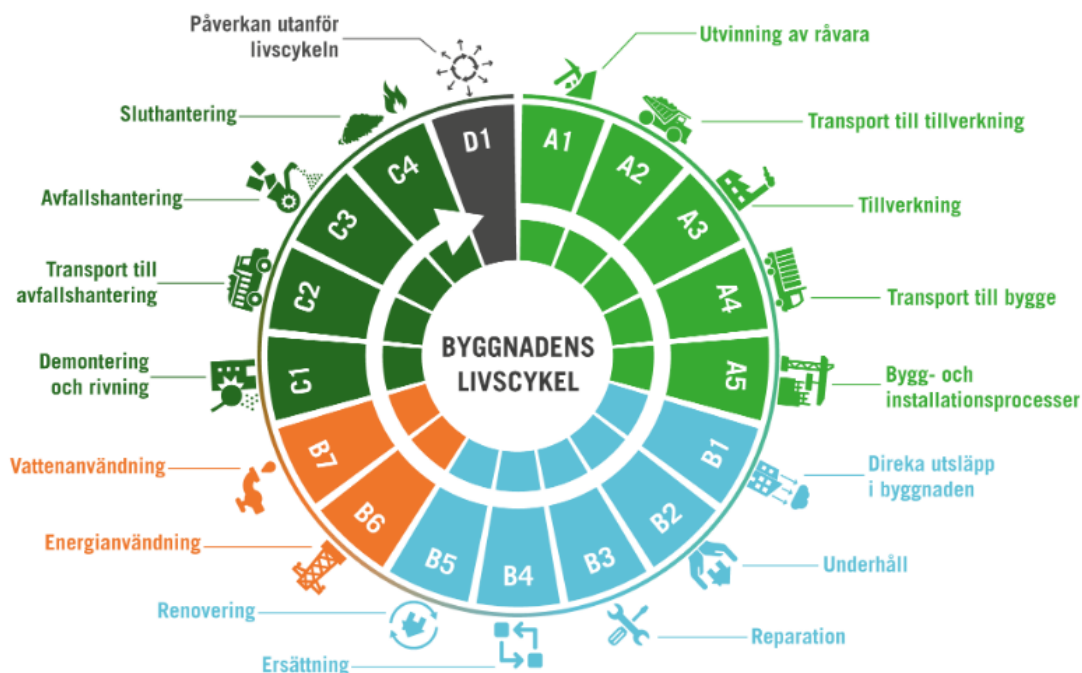
# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Världen är i ständig utveckling; den ökande befolkningen tillsammans med ökande krav på levnadsstandard har inneburit att människan har behövt använda material och varor i större omfattning, och detta har medfört ökade miljöproblem. Byggsektorn står för ca 21 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser, exklusive utsläpp från import. Detta motsvarar cirka 15,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter sedan år 2020 (Boverket, 2023). För att nå det globala miljömålets agenda 2030 måste alla branscher och framförallt byggbranschen ställa om sina produktionskedjor. Detta är möjligt genom att minska användningen av icke förnybara råvaror och använda mer återvunna material, och även minska utsläppen och avfallet under produktionen (Alsmarker, Eichler, 2022). Enligt Sveriges miljömål (2020) betyder agenda 2030 att “vi ska uppnå en socialt, miljömässigt och ekonomiskt hållbar värld.”

Det är betydelsefullt för framtiden att bygga på ett hållbart och miljövänligt sätt för att både minska utsläpp och uppnå det nationella miljö kvalitetsmålet “God bebyggd miljö” (Boverket, 2022 a). Valet av material därför är en viktig aspekt för att göra bra miljöval och för att reducera de negativa miljöeffekterna. Genomförd livscykelanalys (LCA) är en av de viktigaste metoderna för att undersöka byggmaterialens miljöprestanda.

Livscykelanalys är i princip en analys av materialets livscykel, från utvinning av naturresurser till dess att materialet inte längre har någon funktionell nytta och måste tas hand om. Allt ifrån utvinning av råvaran, tillverkning av byggmaterial, transport från tillverkaren till byggarbetsplatsen, användning och återvinning till slutlig deponering av materialet undersöks och utreds för att därefter göra en bedömning av hur materialet påverkar miljön under hela sin livscykel. Analysen kallas även för vaggan-till-graven-analys, se figur (1) (Burström & Nilvèr, 2018).



Figur 1: En översiktlig bild över livscykeln för en byggnad och dess ingående material (Sweden Green Building Council, 2023).

Att undersöka produktens livscykel, och följa alla flöden hela vägen ut, skulle i praktiken innebära ett mycket omfattande arbete. Därför är det viktigt att avgränsa vilka skeden man vill inkludera i sin studie (Boverket, 2019 a). Dessutom kan man välja att fokusera på olika kategorier, men oftast ligger fokus på en specifik kategori, till exempel materialets negativa påverkan på klimatet (Boverket, 2019 b).

Enligt en studie från Chalmers Tekniska högskola har både trä och betong sina unika egenskaper och fördelar när det gäller hållbarhet och miljöpåverkan (Baker, 2022). Trä är ett förnybart material, som kan återvinnas och återanvändas. Produktionen av trä kräver mindre energi jämfört med betong och släpper dessutom ut mindre fossil koldioxid. Träbyggnader kräver dock regelbundet underhåll för att kunna behålla sin hållbarhet och måste även skyddas mot skador, röta, brand och insektsangrepp.

Betong däremot är ett starkt och hållbart material, som kan tåla höga belastningar samt korrosion. Produktionen av betong kräver emellertid mycket energi och avger även mycket koldioxid från själva råvaran (Naturskyddsföreningen, 2022). Det är även svårt att återanvända betong, vilket leder till stora mängder avfall.

## 1.2 Syfte

Eftersom miljö- och hållbarhetsaspekter är viktiga för framtiden, och en av de avgörande faktorer som påverkar dessa två aspekter är valet av byggmaterial, vill vi med denna studie undersöka och skapa en djupare förståelse av vardera materials livscykelanalys. Målet är att analysera och utreda vilket av materialen, trä eller betong, som är lämpligast som byggmaterial utifrån miljö- och hållbarhetssynpunkt.

## 1.3 Frågeställningar

Huvudfokuset för denna studie kommer huvudsakligen att ligga på följande frågeställningar:

- Vilken miljöpåverkan har KL-trä jämfört med vanlig prefabricerad betong?
- Vilket material är lämpligast att bygga med utifrån miljö- och hållbarhetssynpunkt?
- I vilket LCA-skede (A1-A5) släpps ut mest koldioxid för respektive material?

## 1.4 Avgränsningar

I och med att denna undersökning är resurs- och tidsbegränsad kommer studien ha följande avgränsningar:

- I vår studie kommer vi att undersöka miljöpåverkan för ytterväggar gjorda av trä och betong. I ytterväggarna ingår även andra material såsom stenull, gipsskivor mm, men vi kommer att fokusera mest på de två byggmaterialen trä och betong. Detta på grund av att vi vill kunna få en mer detaljerad och noggrann jämförelse dem emellan.
- Studien kommer att begränsas till endast ytterväggar hos enplanshus på 150 m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, detta hjälper studien att bli mer relevant och fokuserad.
- I denna studie kommer fokus att ligga på träets och betongens miljöpåverkan, från resursutvinning till materialens tillverkning och slutligen till färdigproducerat hus. Detta motsvarar LCA-skedena A1-A5, och det utesluter användningsfasen och slutskedet.
- Klimatdata för beräkningar i beräkningsprogrammet One click LCA kommer att baseras på produktspecifika data (EPD:er).

- Geografiskt fokus i denna studie ligger på Sverige, detta på grund av att vi ska kunna få en mer specifik och detaljerad bild av skillnaderna mellan trä och betong.
- I studien kommer vi inte att ta hänsyn till stålet i betongen, då stålet anses vara försumbart.

## 2. Metod och genomförande

### 2.1 Forskningsmetod

Kvantitativa och kvalitativa metoder är två övergripande forskningsmetoder. Kvantitativa metoder fokuserar på mätbara data och enkäter och är ett väldigt bra verktyg för att samla in data för att sedan presentera de i form av grafer eller diagram. Kvalitativa metoder handlar om att samla in icke-numeriska data, det vill säga att den samlar information för att beskriva ett ämne istället för att mäta det (SurveyMonkey. uå). I vår studie har vi valt att använda en kombination av den kvantitativa och kvalitativa forskningsmetoden för att få en helhetsbild av ämnet. Den kvalitativa forskningsmetoden hjälpte oss att kunna samla in och analysera information noggrant, vilket gav oss grundlig förståelse av ämnet. Vi har granskat olika källor såsom tidigare forskning, böcker och vetenskapliga artiklar för att få en djupare förståelse av ämnet. För beräkningsdelen av arbetet och datainmatningen i beräkningsprogrammet One Click LCA använde vi oss av den kvantitativa forskningsmetoden. Kvantitativa metoden gjorde det möjligt för oss att kunna samla in objektiva data och genomföra våra beräkningar, och därefter få konkreta och objektiva resultat. Genom att använda både kvalitativa och kvantitativa forskningsmetoden kunde vi få en djupare förståelse av själva ämnet och även få mer objektiva resultat. Det ledde till att vi kunde skapa en välgrundad och nyanserad forskning (SurveyMonkey. uå).

### 2.2 Tidigare undersökning

Det har gjorts tidigare studier kring miljöpåverkan av betong- och trä ytterväggar, och det har varit till stor hjälp för vår studie. De tidigare studierna hjälpte oss att få en överblick över den befintliga kunskapen som redan finns inom ämnet. Dessutom hjälpte studierna oss att veta vilka frågor och problem som redan har undersökts och därtill vilka resultat de har kommit fram till. Resultaten från tidigare forskning ger oss möjligheten att kunna jämföra och analysera vårt resultat med deras resultat. Detta

leder till att vi kan dra slutsatser och få djupare förståelse om ämnet och även kunna identifiera likheter och skillnader i våra resultat. Vi har studerat och jämfört våra resultat med två tidigare studier kring trä och betongs miljöpåverkan, Abulal och Chamoun (2021) samt Salar och Hajsaid (2022). Resultatet från dessa två studier kommer att presenteras i tabell 6-7 under diskussionskapitlet.

## 2.3 Litteraturstudie

Denna undersökning går ut på att jämföra och analysera två ytterväggar, den ena med trästomme och den andra i betong. För att undersöka materialens (trä och betong) miljöpåverkan och kunna dra en slutsats gällande vilket material som är lämpligast att bygga med utifrån miljö- och hållbarhetssynpunkt, kommer denna studie i första hand att baseras på litteraturstudier, såsom tidigare forskning, vetenskapliga artiklar och böcker, samt på pålitlig och relevant information på nätet. Informationen samlas från olika databaser, exempelvis ScienceDirect, Google Scholar, Scopus. Dessutom baseras vissa lärdomar på tidigare kurser som har varit en del av vår utbildning.

## 2.4 One Click LCA

Utöver litteraturstudie används LCA-beräkningsprogrammet One Click LCA, som kommer vara till hjälp för att effektivt komma fram till ett resultat. Genom att beräkna kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter golvyta ( $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$ ), av respektive material för byggsystemen görs en djupare jämförelseanalys mellan materialens miljöpåverkan under LCA-skeden A1-A5. Slutligen diskuteras och utvärderas resultatet samt dras slutsatser utifrån teori och uträkningar från LCA-beräkningsprogrammet One Click LCA.

## 2.5 Olika väggkonstruktion

De konstruktioner som används i denna studie kommer från två olika källor. Träkonstruktionen hämtades från ett projekt som genomfördes under utbildningen. Betongväggkonstruktionen har valts för det pågående projektet, baserat på tidigare examensarbete där de jämförde betong och träväggens miljöpåverkan (Shirvani & Lin, 2020). I följande avsnitt redovisas stomsystemen som används för att undersöka två väggkonstruktioner, en i trä och en i betong. Konstruktionerna och dess material har mängdberäknats för hand och matats in i LCA-beräkningsprogrammet One Click LCA, i syfte att beräkna respektive byggnads bidrag av kilogram koldioxidekvivalenter till LCA-skedena A1-A5.

## 2.5.1 Träkonstruktion

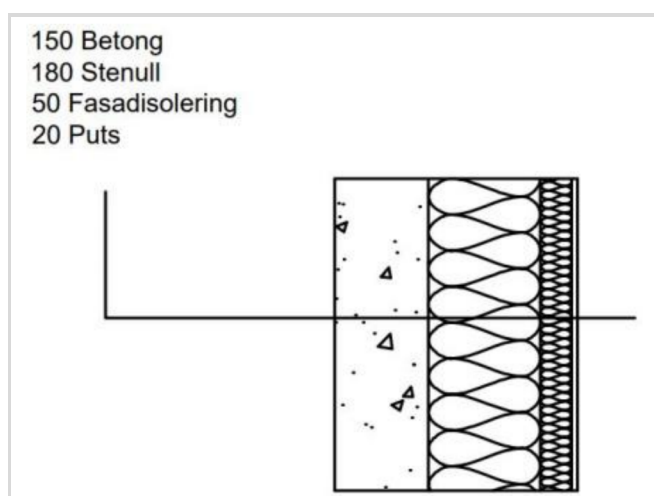
Som tidigare beskrivits hämtades träkonstruktionen från ett projekt som genomfördes under höstterminen 2022. I korthet bestod projektet av ett fiktivt uppdrag från kommunen Helsingborg att utveckla 33 villor indelade i 3 etapper, där ett av huvudmålen var att bygga så miljösmart som möjligt, så att bostäderna kunde certifieras enligt Miljöbyggnad “Silver”, och även låg energiförbrukning var ett av kraven. Bostäderna i det tidigare projektet var tvåplanshus med trästomme. I och med att denna studie avgränsar sig till enplanshus med en area på 150 kvadratmeter, är det bara användbart att ta väggkonstruktionen och dess material från modellen i det tidigare projektet (Fig. 2). Väggkonstruktionen är i princip uppbyggd av gipsskiva, spånskiva, en 70 mm tjockt installationskikt, plastfolie, bärande regler med en tjocklek på 195 mm, vindskiva, 100 mm tjockt fasadskiva och slutligen glespanel, horisontella träreglar för fasadbeklädnad. Detta motsvarar en tjocklek på 435 mm, inklusive luftspalt och fasadbeklädnad. Det är av betydelse att notera att väggarnas tjocklek i detta hus har valts för att uppnå de krav som ställts på projektet, vilket inkluderar att skapa en energieffektiv bostad och uppfylla kriterierna för Silver-certifiering enligt Miljöbyggnad 3.2.



Figur 2: Träkonstruktionen av ytterväggar (Bilaga 2).

## 2.5.2 Betongkonstruktion

Väggkonstruktionen som används i detta examensarbete är framställd av Veidekke AB (u.å.), och väggkonstruktionen är prefabricerad. Betongväggskonstruktionen består av halvsandwichbetong, som är prefabricerad betong med en höjd på 3 meter och en tjocklek på 400 mm. Konstruktionen fungerar som en lastbärande vägg och dessutom kommer den att stödja taket i byggnaden. Väggkonstruktionen består av 150 mm betong på utsidan, 180 mm tjock stenull, 50 mm fasadisolering och 20 mm puts på utsidan (Fig. 3).



Figur 3: betongvägg konstruktion, Halvsandwich BTG (Shirvani & Lin, 2020)



## 3. Teori

### 3.1 Materialegenskaper

#### 3.1.1 Trä som ett klimatsmart byggmaterial

Av all skogsmark på jorden motsvarar Sveriges skogsmark knappt 1 procent.

Skogsmark i Sverige täcker 70 procent av den totala landarealen, och är främst rik på barrskog nästan överallt i landet. Dock dominerar lövskog allra längst i söder. Enligt branschorganisationen Svenskt Träs faktaskrift, *Att välja trä* (2020), går den totala skogen som avverkas i tre olika "huvudflöden", ca 45 procent går till sågverken, och 45 procent till massaindustrin och 10 procent blir brännved, stolpar med mera (Svenskt Trä, 2020).

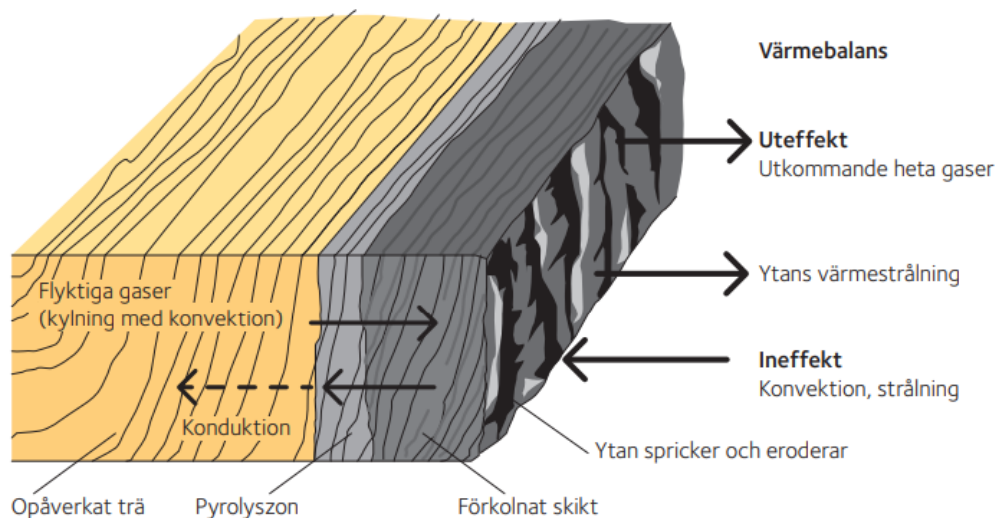
Trä har varit ett fundamentalt material traditionellt sett i Sverige, vad gäller småhusbyggande. Idag har trähusbyggande blivit allt mer populärt i och med att det medför stora vinster för klimatet och hållbarhetsmålen (Svenskt Trä, u.å. a). Förutom att trä är ett förnyelsebart material är det även ett lätt och stark material som är anpassningsbart för att tillverka diverse byggnadstyper såsom enbostadshus, flerbostadshus och hallbyggnader (Svenskt Trä, 2020).

Trä är en viktig sänka för organiskt kol. Materialet produceras av naturen i ett ekologiskt kretslopp som tar upp koldioxid från atmosfären och binder kolet i glukosmolekyler. Genom fotosyntesen som omvandlar vatten och koldioxid med hjälp av solenergi till kolhydrater (glukos) som byggstenar i veden. Denna egenskapen gör trä så värdefull om man bygger med trä eftersom kolet lagras i träet under en lång tid. Användningen av trä har förändrats gradvis under de senaste decennierna då nya metoder har tillkommit och gjort trä mer anpassat för byggnadsändamål. Eftersom materialet produceras av naturen måste man räkna med omfattande variationer i egenskaper inom samma slags trä. Allt från den geografiska växtplatsen till träets egenskaper exempelvis uppbyggnad och struktur spelar stor roll vid tillverkning av olika byggkomponenter (Burström & Nilvèr, 2018).

Trä är ett lätt material på grund av dess höga porositet, vilket ger trä relativt goda termiska egenskaper. Dessutom kännetecknas trä av en mycket komplex anisotrop struktur, vilket innebär att mikrostrukturen i trä materialet varierar och resulterar i olika egenskaper i olika riktningar. Trä har stora fuktbetingade rörelser, särskild

vinkelrätt mot fiberriktningen. Detta gör att olika träslag har olika hållfasthet, och den högsta hållfastheten uppnås när trä dras längs fiberriktningen. När det gäller brandtålighet så återgår hållfasthetsvärdet till sitt ursprungliga värde när temperaturen normaliseras efter en kortvarig temperaturförändring. Under långvarig hög temperatur förlorar dock trä sin hållfasthet permanent (Burström & Nilvèr, 2018)

Brandegenskaperna hos trä varierar stort mellan olika träslag och även mellan olika tråelement. Trä är förvisso inte lika brandtåligt som exempelvis betong, men det behåller sin bärförmåga till skillnad från oskyddat stål. Trä har förmågan att förkolas långsamt, vilket innebär att det brinner långsammare och leder till att träet kan bibehålla sin struktur och bärförmåga vid brand. Det förkolkade skiktet bildar successivt ett skyddslager vid träytan som förhindrar ytterligare förbränning vid kortvarig brand, se figur 7. Dimensionen på träkonstruktioner kan öka dess brandmotstånd, vilket innebär att träkonstruktioner med större dimensioner har längre motståndskraft mot brand (Svenskt Trä, 2020).



Figur 7: Träkonstruktioner kan genom förkolning behålla en betydande bärförmåga under brand (Svenskt Trä, 2020).

Trähusbyggande har många fördelar, utöver dess låga värmeledningsförmåga och lätthet att bygga med, ger det även en naturlig och biofilisk känsla inomhus. Däremot har tråelement också sina nackdelar, bland annat insektsangrepp och fuktrelaterade problem såsom mögel. Tråhus kråver därför underhåll och förvaltning för att hålla strukturen och materialet stabilt och friskt (Svenselius, 2017).

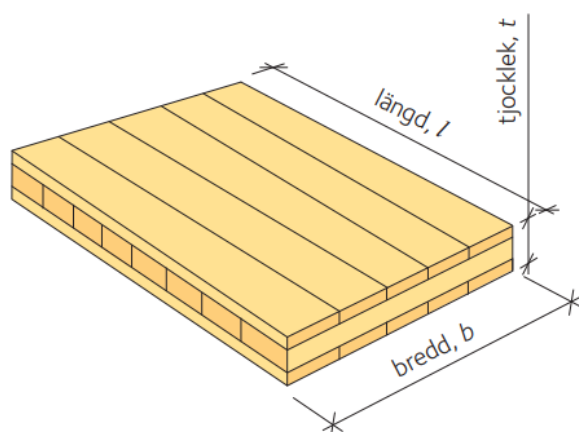
Lite mer information om fuktens negativa påverkan på trä och vilka typer av skador den kan orsaka är biologisk nedbrytning, exempelvis kan rötsvampar och blånadssvampar bryta ner trä vid höga fukttillstånd. En åtgärd för detta problem är tryckimpregnering, som en metod för att skydda och förhindra rötangrepp på träprodukter. En annan effekt är att en ökad fukthalt kan medföra lägre hållfasthet samt större elastiska och plastiska deformationer i träprodukter. Därför måste alla träbaserade byggelement skyddas och förvaras torrt under produktionsfasen, det vill säga under byggtiden. Även när träprodukter tillverkas måste de skyddas för att om trä lagras utan fuktskydd före sågningen kan ringporenna förstora sig och träets permeabilitet ökas (Arfvidsson m.fl., 2017).

Som tidigare nämnts är trä ett lätt material och tyngden har en stor betydelse för ljudisolering. Detta innebär att trä har sämre ljudisoleringsförmåga jämfört med exempelvis betong. Tack vare framstegen inom träbyggnadstekniken har flera nya lösningar utvecklats för att förbättra ljudisoleringen av träkonstruktioner (Svenskt Trä, u.å. b).

### 3.1.1.1 Korslimmat trä (KL/CLT)

Korslimmat trä är starkare än traditionellt trä och har en högre värmeisoleringsförmåga, vilket kan leda till minskade energikostnader för byggnader. Vid tillverkning kapas träbrädorna till rätt dimension och torkas till rätt fuktnivå, sedan sorteras de efter styrka och fingerskarvas till angiven längd. Träet tillverkas vanligtvis av gran eller furu, men det är också möjligt att använda andra träslag (Svenskt Trä, 2017). Densiteten och fukthalten kan variera, för träbrädor och plankor av gran kan densiteten vara på  $430 \text{ kg/m}^3$  vid en fukthalt på 12 % (Setra Trävaror AB, 2021). KL-trä är fingerskarvade brädor och tjockleken på dessa lameller (brädor) kan variera mycket från en tillverkare till en annan, då varje KL-trätillverkare har sina egna standardtjocklekar och hållfasthetsklasser. Dessutom kan tvärsnittsuppbyggnaden och orienteringen av brädsikten variera mellan olika tillverkare. Samtidigt som det påverkas av vilket ändamål produkten används till, olika tjocklekar kan kombineras till exempel en tjocklek på 20 mm, 30 mm eller 40 mm går att kombineras i 3, 5 eller 7 lager. "Tillverkningen av KL-trä (korslimmat trä) följer ungefär "likartad process" oavsett tillverkare eller ursprungsland, se figur (8) som visar en principskiss av KL-trä (Svenskt Trä, 2017).

Syftet med KL-trä tekniken är att ge en träprodukt hög bärförmåga och styvhet genom att kombinera flera mindre brädstycken till större byggelement. Detta utgör en bidragande faktor för ett homogent, starkt och styvt byggelement med hög dimensionsstabilitet, god formstabilitet och hållbarhet (Svenskt Trä, 2017).



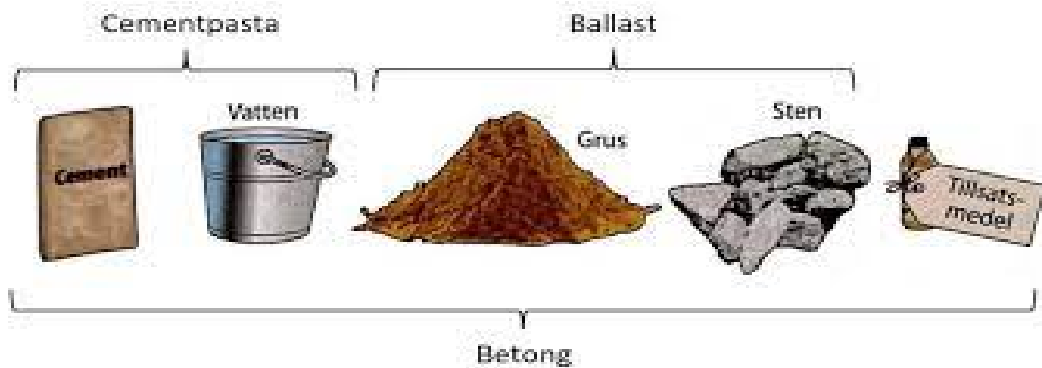
Figur 8: KL-träskiva (Svenskt Trä, 2017)

Fördelarna med KL-trä är talrika, det är ett förnybart byggmaterial som har stor lastbärande och stabiliserande kapacitet. Trots sin låga vikt är det tvärstyvt och tåligt, och kan produceras i stora spännvidder, i princip samma spännvidder och dimensioner som betong. Med en volymvikt som endast är en femtedel av betongens och en E-modul som är mer än tio gånger lägre, resulterar ljudisoleringen för KL-trä i cirka 15 dB mindre effektivitet för normala tjocklekar i ett intervall mellan 100-250 mm. På grund av att KL-träelement har rätt så hög bärlast och hållfasthet använder man dessa byggelement i bärande konstruktioner såsom bärande ytter- och innerväggar och bjälklag (Martinsons, u.å.).

### 3.1.2 Betong som ett hållbart byggmaterial

Betong har använts länge i människans byggkonstruktioner. Användningen av betong sträcker sig tillbaka till 500 f.kr. under romarriket. Betong användes mycket i flera 100 år i olika typer av byggnader som amfiteater, broar, hamnar och bostäder. Efter att romarriket föll, minskade användningen av betong i olika byggnader. Betongen består av 80 procent ballast (berg, sand & grus), 14 procent cement, 6 procent vatten och även tillsatsmedel används för att förbättra betongens egenskaper (Fig. 9). Idag är produktionsprocessen av betong betydligt mer avancerad jämfört med

betongtillverkning under antiken. Dessutom används betong idag inte enbart i stora projekt utan betong används även i mindre projekt såsom möbler, fontäner och krukor (Betongföreningen, 2023).



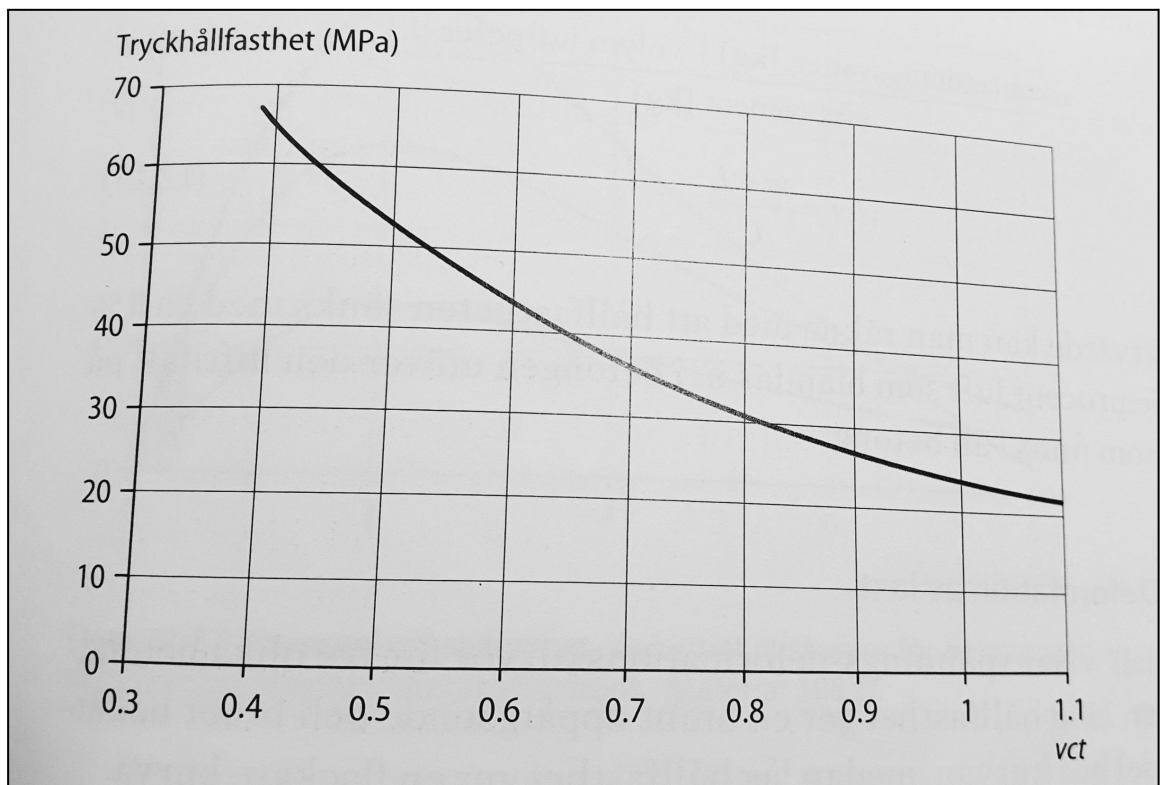
Figur 9: Betongens beståndsdelar (Burström & Nilvèr, 2021)

Blandningen av cement och vatten kallas för cementpasta eller cementlim, vidare cementpastans egenskaper bestäms från förhållandet mellan vatten och cement. Detta förhållande kallas det för vattencementtalet (vct) och kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$vct = \frac{W}{C}$$

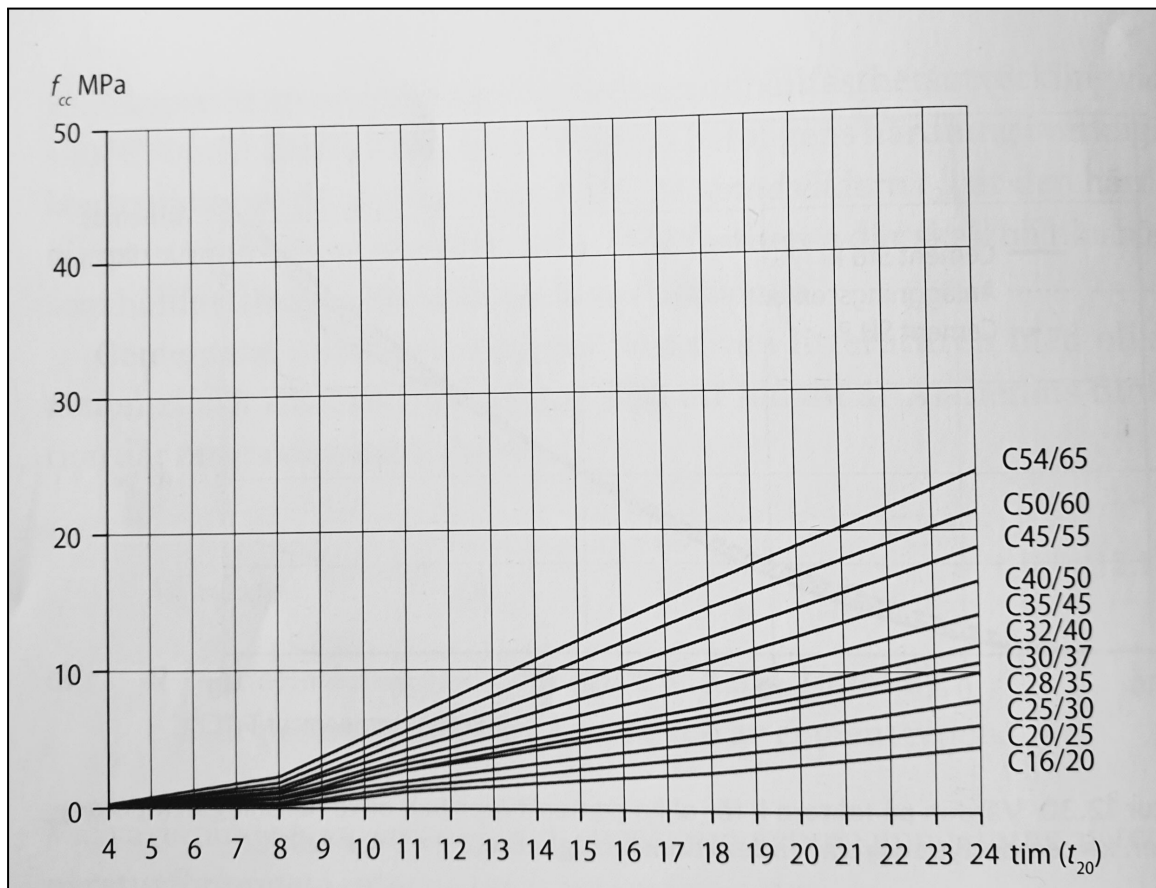
W visar mängd blandade vatten [kg], [kg/m<sup>3</sup>]

C visar mängd av cement [kg]



Figur 10: Samband mellan tryckhållfasthet och vct för betong (Burström & Nilvèr, 2021)

Figur (10) visar tydligt att betongens hållfasthet minskar vid högt värde på vct, vilket betyder att betongens hållfasthet minskar ju mer vatten man tillsätter i cementpastan (Burström & Nilvèr, 2021). Betong klassificeras i olika hållfasthetsklasser baserat på dess tryckhållfasthet, som mätts i MPa. Betongkvaliteten anges i två olika hållfasthetsklasser, ex C54/65 (Fig. 11). Det första värdet visar hållfastheten för en cylindrisk form med diameter 150 mm och 300 mm höjd, och det andra värdet visar hållfasthetsklassen för en kubisk form med 150 mm sidlängd (Husgrunder, 2020).

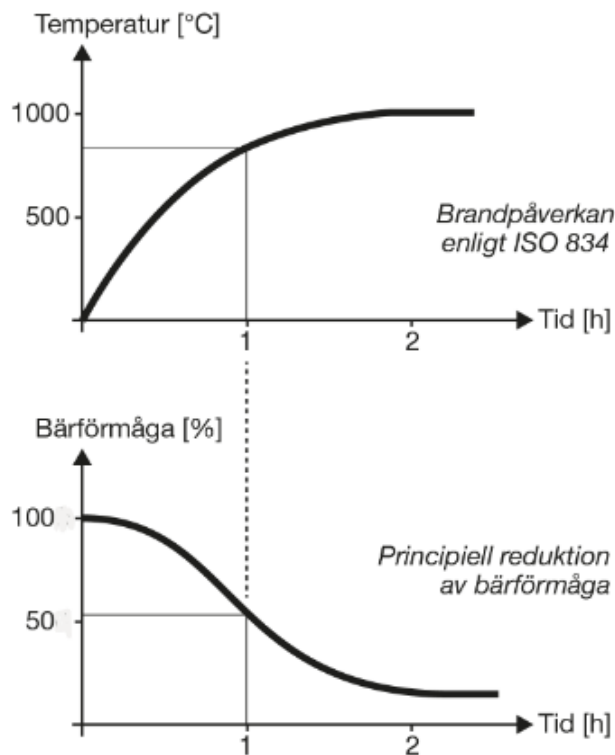


Figur 11: Trendkurvor för hållfasthetsutveckling för betong (Burström & Nilvèr, 2021)

Betong har hög tryckhållfasthet men däremot inte alls lika hög draghållfasthet. Därför används armeringsnät i betongen för att stärka betongens draghållfasthet. Enligt Husgrunder (2020) kan man tillsätta fibrer såsom glasfiber, plastfiber och stålfiber i betongblandningen som faktiskt kan ersätta behovet av armeringsnät. Dessa fibrer gör betongen starkare och stabilare vilket leder till att sprickorna i betongen minskar (Husgrunder, 2020).

Fördelarna med betong är många, vilket gör att materialet är en populär byggkomponent i byggbranschen. Betong är ett starkt material med lång livslängd och

till skillnad från andra material har betong ett lågt drift- och underhållsbehov. En annan stor fördel med betong är dess brandsäkerhet, betong avger ingen rök och inga giftiga avgaser vid en brand och dessutom brinner inte en betongstomme och just därför kan den bibehålla sin beständighet vid en brand (Svensk Betong, u.å.). Figuren nedan (Fig. 12) visar hur bärförmågan hos betong påverkas genom tiden och temperaturökningen vid en brand.



Figur 12. Betongens bärförmåga vid brand enligt ISO 834 (Svensk Betong, u.å.)

En annan anledning till betongens långa livslängd och hållbarhet är att betong tål fukt och kan inte mögla. Enligt hemsidan Svensk Betong (u.å.) har 9 procent av lägenheterna och 15 procent av småhusen i Sverige haft någon sorts fukt- eller vattenskada. Dessa skador kan leda till stora problem som mögel, röta och hälsoproblem och leder även till kostsamma reparationer. Därför är det viktigt att använda fukttåliga material som betong för att undvika dessa problem. Stora delar av betongen består av berg och detta gör betongen till ett miljövänligt material, där betongen kan återvinnas till 100 procent (Svensk Betong, u.å.)

Ytterligare en god egenskap hos betong är dess höga värmetröghet, det innebär att betong har förmågan att lagra överskottsvärme, och det kan användas vid ett

underskott. Detta leder i sin tur till ett minskat energibehov, vilket resulterar i mindre miljöpåverkan och även fördelaktig för vår ekonomi. Värmetrögheten hos betong leder till minskade temperaturvariationer inomhus och därför skapas ett stabilt och behagligt inomhusklimat, som resulterar i ökad komfort för de som vistas i huset (Svensk Betong, u.å.).

En annan egenskap hos betong är att den absorberar koldioxid från luften och lagrar den permanent. Denna process kallas för karbonatisering och det händer när koldioxid i luften reagerar med betongens kalksten. Genom karbonatisering kan 23% av den koldioxid som släppts vid tillverkningen av cement återtas. Detta kan dock vara icke önskvärt eftersom kalciumsilikaterna övergår till kalciumkarbonat, det vill säga kalksten, och med tiden kommer byggnaden att vittra sönder. Detta är en viktig egenskap eftersom det hjälper oss att minska mängden utsläpp av koldioxid i atmosfären, men samtidigt kan denna egenskap vara skadligt för väderutsatta byggnader som broar och husfasader. Karbonatisering i dessa byggnader leder till att armeringsjärnen i betongen rostar och kan därmed spränga sönder betongen. För att minska karbonatisering i betongkonstruktioner används olika täckskikt, dessa täckskikt skyddar betongen mot skador och därav förlänger livslängden på betongkonstruktioner (Heidelberg Materials, u.å. c).

Ljudnivån i inomhusmiljön är en viktig faktor för att skapa en bekväm och hälsosam livsmiljö. Därför prioriteras ljudisolering och ljudnivåer högt av hyresgäster när de bedömer vad som är en bra bostad. Människan utsätts för allt fler buller, därför ställer myndigheter minimikrav för att skydda människors hälsa. Det resulterar i att flera byggföretag bygger så att byggnaden uppfyller ljudklass B, vilket är mycket bättre än Boverkets minimikrav. Betong är ett bättre ljudisolerande material jämfört med trä, det beror på att betong är styvare och tyngre. Betongs styvhet gör det svårt för ljudvågor att tränga sig igenom materialet (Svensk Betong, 2022).

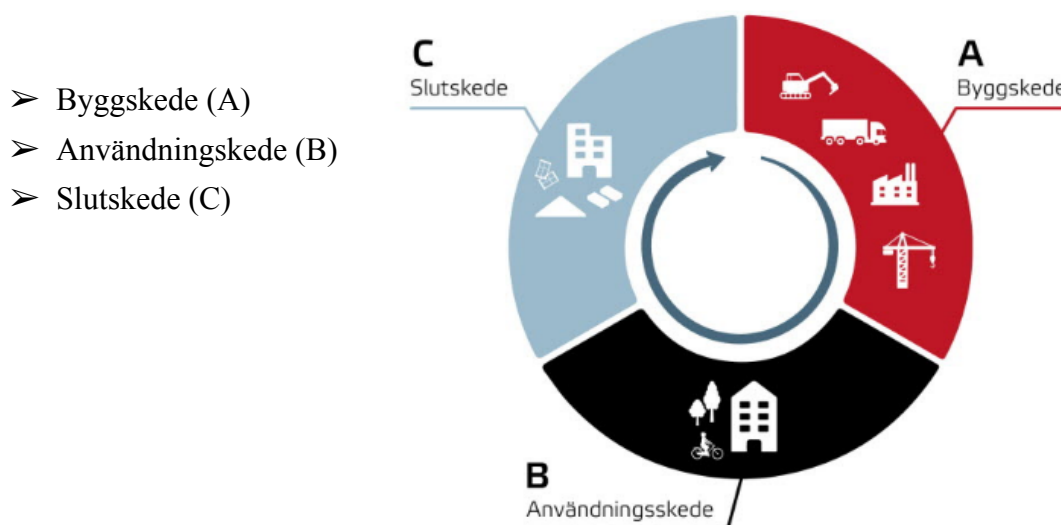
Trots att betong har många fördelar, så finns det ändå en del nackdelar med betonghus byggnader. En av de största nackdelarna är att det tar lång tid att bygga hus med betong, vilket i sin tur leder till ökade kostnader och längre byggprocess. Tillverkningen av betong kräver mycket energi, därför släpps det ut mycket koldioxid i luften vid tillverkning av betong. En annan nackdel med byggnader av betong är att de är dyrare att bygga jämfört med ett trähus (Unika stenhus, 2022).



## 3.2 Livscykelanalys (LCA)

Livscykelanalys är ett systematiskt verktyg för att analysera ett materials negativa avtryck på miljön under sin livscykel, genom LCA ökar man både medvetenhet och förståelse kring byggnadsmaterials miljöpåverkan och hur man kan eliminera det negativa avtrycket. Den grundläggande metoden går ut på att först definiera den funktionella enheten, sätta systemgränser, sedan identifiera typ av data som används och slutligen göra en bedömning av påverkan "impact assessment". Denna metod har standardiserats enligt ISO 14040 och 14044:2006 (Boverket, 2019 b).

Trots att LCA-verktyget är viktigt och användbart, så finns det kvarstående hinder och utmaningar som begränsar användningen av LCA i byggsektorn. Att undersöka ett materials livscykel från vagga till vagga eller vagga till grav, är tidsödande, komplicerat och kräver tillgänglighet till väldigt mycket indata, vilket gör det svårt att undersöka livscykeln fullständigt. En fullständig livscykelanalys för en byggnad och dess material består av tre stora huvudskeden, nämligen (Fig. 13):



Figur 13: En byggnads livscykel. Illustration av Infab (Boverket, 2021 b)

Dessa huvudskeden fördelas ytterligare i moduler/skeden och betecknas med bokstäver, som följer den europeiska standarden EN15978 Hållbarhet för byggnadsverk, byggnaders miljöprestanda (Boverket, 2021 b). Nedan presenterar tabell (1) en översiktlig bild över de olika skedena i en byggnads livscykel. Kommande

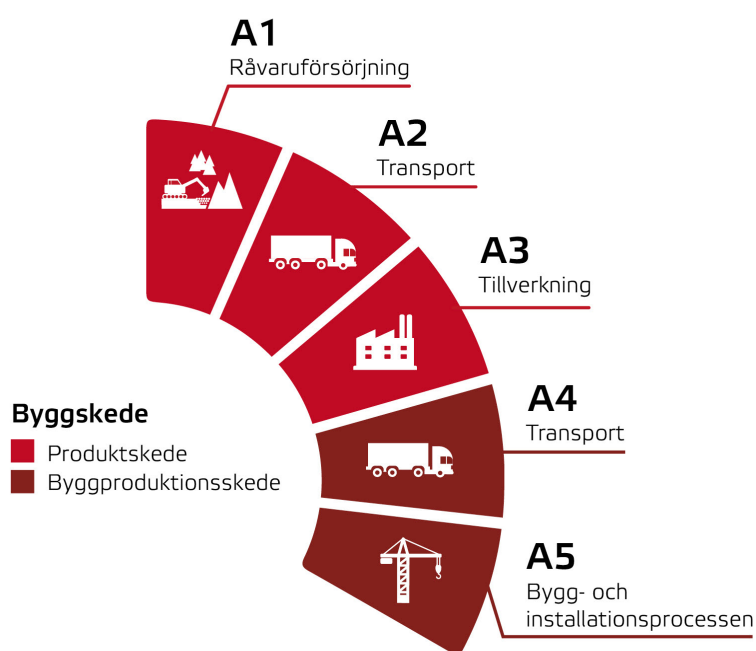
kapitel beskriver LCA-shedena A1-A5, vilka utgör en del av livscykelanalysen för respektive material: trä och betong.

Tabell 1: Tabellen redovisar de olika LCA-skeden som ingår i en byggnads livscykel (Efter Boverket, 2019).

Huvudskede	Moduler		
<b>(A) Byggskede</b>	<b>A1-3</b> Produktionsskede	A1	Resursåtervinning Resursanskaffning
		A2	Transport till tillverkning
		A3	Tillverkning
	<b>A4-5</b> Byggproduktionsskede	A4	Transport till bygge
		A5	Bygg- och installationsprocess
<b>(B) Användningskede</b>	<b>B1-7</b>	B1	Användning - Direkta utsläpp i byggnaden
		B2	Underhåll
		B3	Reparation
		B4	Ersättning
		B5	Ombyggnad
		B6	Energianvändning
		B7	Driftens vattenanvändning
<b>(C) Slutskede</b>	<b>C1-4</b>	C1	Demontering och rivning
		C2	Transport till avfallshantering
		C3	Restproduktshantering
		C4	Sluthantering
<b>(D) Påverkan utanför livscykel</b>			

### 3.3 Klimatdeklaration

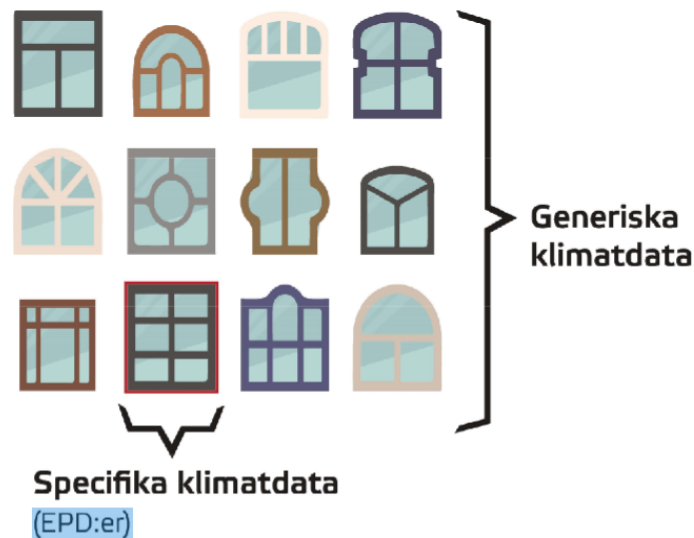
Enligt Boverket (2021 a) från den första januari 2022, är det krav på att klimatdeklarera nybyggda hus. Detta innebär att byggherren måste redovisa byggnadens klimatpåverkan under byggskedet som inkluderar LCA-skedena A1-A5, enligt figur (14). Syftet med klimatdeklarationen är att minska klimatpåverkan under byggskedet och använda klimatsmarta lösningar. Modulerna A1- A5 beskrivs omfattande i nästa kapitel under rubriken “*Träs livscykel*” och “*Betongs livscykel*”. Klimatpåverkan beräknas som GWP vilket står för “Global Warming Potential” och det är ett mått för att kunna jämföra hur mycket ett kilo av en växthusgas kan påverka klimatet i förhållande till ett kilo koldioxid. Hög GWP betyder att gasen har stor påverkan på den globala uppvärmningen. Därefter omräknas gasernas GWP värde till koldioxidekvivalent, vidare ska den beräknade klimatpåverkan enligt Boverkets förordning (2021:789) anges i kilogram koldioxidekvivalent per kvadratmeter bruttoarea (BTA) (Boverket, 2021 b).



Figur 14: Olika byggskede (Boverket, 2021 b).

Klimatdata som får användas i klimatdeklarationer delas in i generiska klimatdata som kommer från Boverket och specifika klimatdata för produkter (EPD:er). EPD står för Environmental product declaration och är produktspecifik data som visar produktens miljöpåverkan under hela produktens livscykel (Boverket, 2021 b). Generisk data är en allmän data som ger en övergripande bild av miljöpåverkan för en

produkt eller produktkategori (Fig. 15). Därför är användning av generisk data i början av ett projekt mer lämpligt med tanke på att man inte alltid vet vilka produkter som ska användas i projektet, och dessutom tar det mycket tid att samla in specifika data. Specifika data (EPD:er) är mer pålitliga och är mer noggranna eftersom det visar produktens specifika miljöpåverkan medan generisk data är en grov uppskattning (ca 25% högre än specifika data) av miljöpåverkan för en produkt (Boverket, 2019 c).



Figur 15: Generiska respektive specifika klimatdata (Persson, 2021)

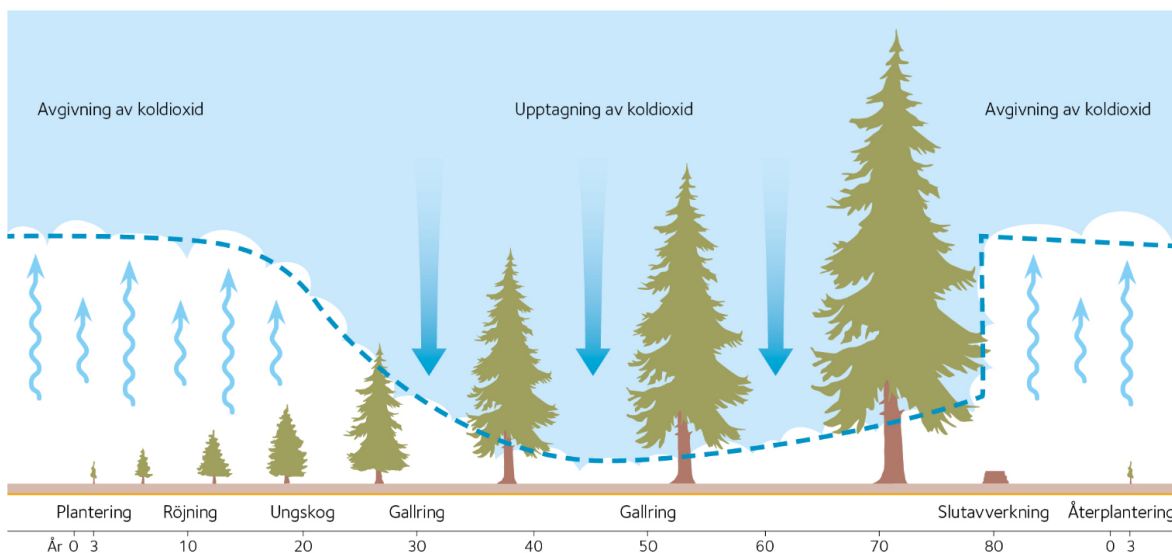
### 3.4 Beskrivning av materialens livscykel

I detta kapitel beskrivs de fem inledande stadierna i livscykeln för både trä och betong. Dessa stadier består av LCA-skedena A1-A5 och fokuserar på att analysera och bedöma materialens påverkan på miljön genom deras livscykel.

### 3.4.1 Träs livscykel

- **A1: Resursanskaffning**

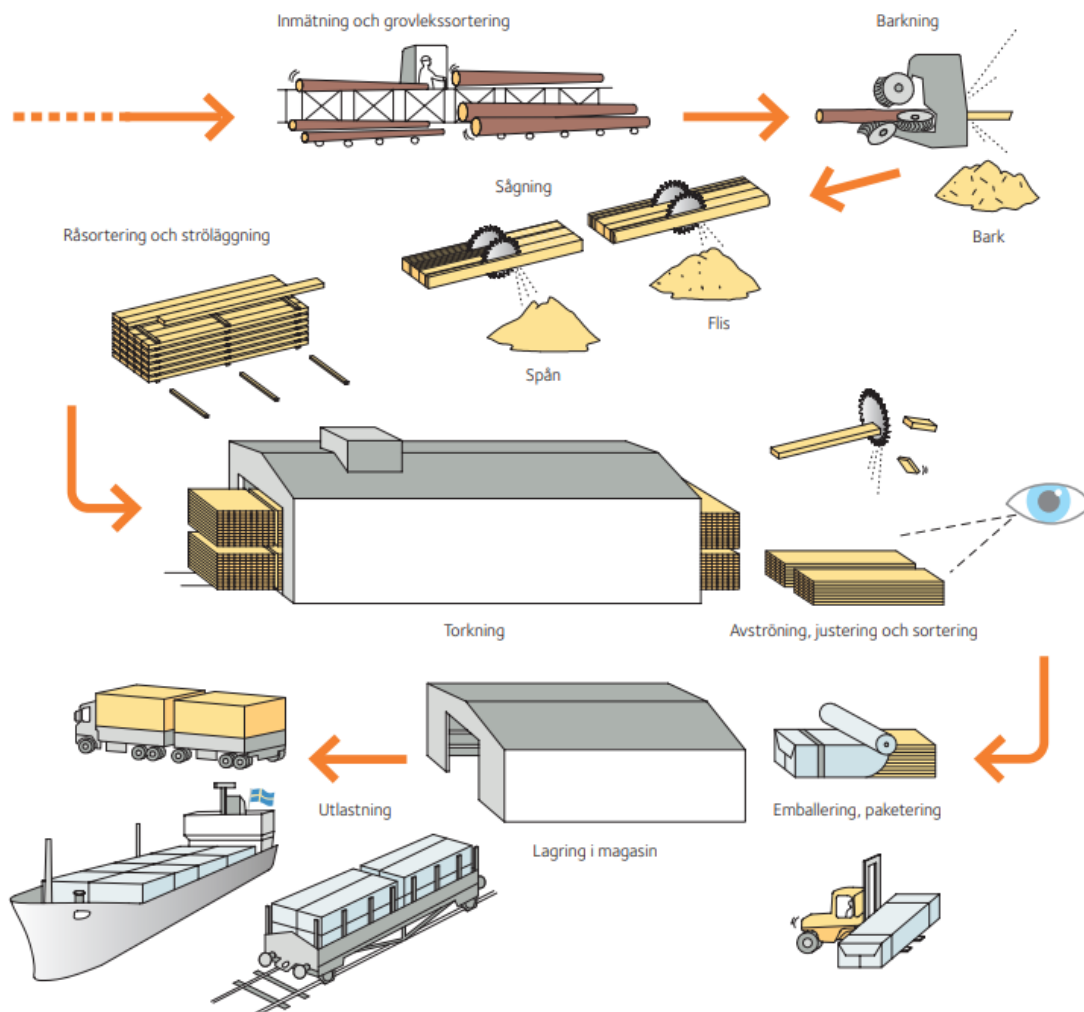
Träs livscykelanalys (LCA) skede A1, behandlar processerna kring anskaffning och förbehandling av råmaterialet. Under detta skede (A1) utvärderas de miljömässiga påverkningar som är förknippade med träs resursanskaffning och förbehandling. Utvärderingen kan vara rätt så omfattande, den kan innehålla allt från användning av mark, vatten och jord, det vill säga naturresurser, till utsläpp av växthusgaser och andra tillhörande luftföroreningen som tillkommer i samband med plantering och avverkning av skog. Illustrationen i figur (16) visar träets livscykel, från plantering till slutlig avverkning. Som illustrationen visar, är kolsänkan som mest effektiv från 20 år och fram till avverkningen. Under de första 20 åren är det en stor avgivning av koldioxid.



Figur 16: Träden avverkas när de är mogna och förädlas till produkter som kan ersätta klimatskadliga produkter och energislag. Illustration av SLU, Holmen (Svenskt Trä, 2020).

Skede A1, även kallad modul A1, inleds med att de mogna träd huggs ned och avlägsnas från skogen (Fig. 16), trädstammarna kapas i rotstock, mellanstock, toppstock. Trästockarna genomgår sedan sågverksprocessen som sedan producerar färdiga träprodukter/trävaror. I sågverken mäter och dokumenterar man de inhämtade trästockarna, samtidigt som att man sorterar dem utifrån deras kvalitet och tjocklek, så kallad golvleksortering. Sedan avlägsnar man barken från trästockarna för att förbereda dem för vidare bearbetning, denna delprocess kallas för barkning. Anledningen till att man avlägsnar barken från träden är för att det finns risk att

skadedjur överlever och sprider sig under barklagret, men även för att barken kan vara användbar som bränsle. Efter att trästockarna har genomgått barkning förs de vidare för ytterligare bearbetning såsom sågning, råsortering, ströläggning, torkning, avstörning, justering och sortering (Fig. 17). Slutligen förpackas träprodukterna, dels för att säkerställa att träprodukterna är skyddade från att bli skadade, dels för att underlätta lagring och transporter av produkten, så kallad emballering (Svenskt Trä, 2020).



Figur 17: Sågverksprocessen från skog till sågad produkt (Svenskt Trä, 2020)

- **A2: Transport till tillverkning**

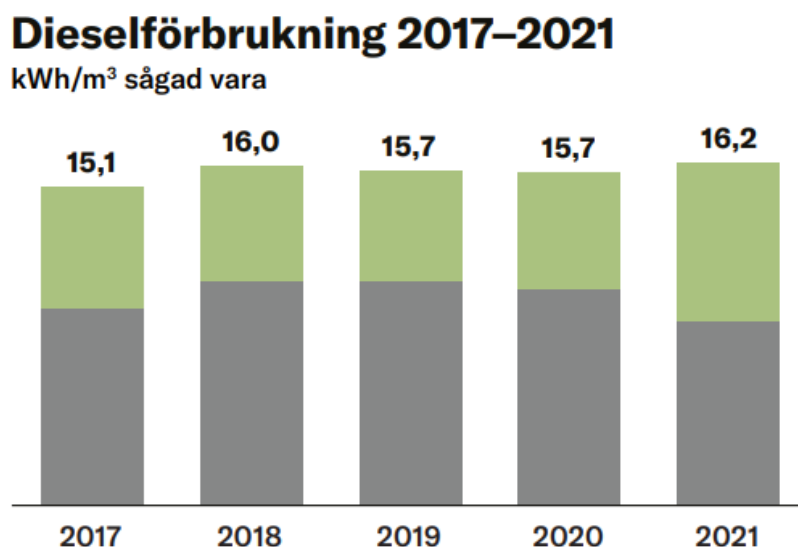
I enlighet med faktaskriften av Svenskt Trä (2020) exporteras cirka två tredjedelar av de träd som avverkas i Sverige, till andra länder, resterande andelen konsumeras/ används i olika industriformer på den svenska marknaden. För detta krävs det olika typer av transport exempelvis tåg, lastbil eller fartyg. Detta kan ha betydande miljöeffekter, inklusive utsläpp av växthusgaser, luftföroreningar samt förbrukning av energi beroende på vilken slags bränsle som används. LCA:s skede (A2) identifierar miljöeffekterna av transporten, i detta fallet, till träprodukt-tillverkarna.

- **A3: Tillverkning**

Det finns olika tekniker och tillverkningsmetoder som kan användas för att producera träelement, och valet av metod beror oftast på vilken typ av produkt som ska tillverkas och vilka egenskaper produkten ska ha. Trävaror kan bland annat hyvlas, limmas, fingerskarvas och tryckimpregneras. Limträelement tillverkas industriellt genom fingerskarvning av lameller som limmas ihop till stora längder. Storleken begränsas av transport och produktionsutrustning. Fingerskarvningsteknik är en användbar metod som ger mycket stora längder, tekniken används även vid tillverkning av KL-trä. Korslimmat trä, som tidigare nämndes, är uppbyggda av hyvlat virke som fingerskarvats och limmats ihop till lameller (Svenskt Trä, u.å. c). Tillverkningen av KL-trä en energisnål process, detta i och med att det går att använda biprodukterna som energi. Vilket innebär att behovet av att använda andra typer av bränsle minskas. En kubikmeter trävirke kan lagra 0,9 ton koldioxid, vilket motsvarar 900 kg koldioxid. Enligt en annan hållbarhetsundersökning genomförd av Setra group AB, ger 1 kubikmeter sågat trä en inlåsningseffekt på 800 kg koldioxid (Setra, u.å.). Därutöver har även trätillverkningen en viss mängd utsläpp, enligt vad som rapporteras av Svenskt Trä beräknas miljöprofil för 1m<sup>3</sup> sågad trä avge 21,615 kg koldioxidutsläpp till luften(Svenskt Trä, 2015 a). Till skillnad från betong minskar koldioxidutsläppet från tillverkning och återvinning med 1-1,5 ton koldioxid (Svenskt Trä, 2015 b).

- **A4: Transport till bygge**

Transport till byggarbetsplatsen, som inkluderas i LCA, anses vara en viktig del i produktens livscykel och dess påverkan på miljön. Såsom klimatdeklarationen beskriver omfattar Skedet (A4) transport av byggprodukter i lastbärande konstruktionsdelar och klimatskärm från tillverkningsplats till byggarbetsplatsen och det som inte innefattas här är transport av arbetsmaskiner och förbrukningsmaterial. Miljöavtrycket som transport kan bidra med, kommer variera mycket beroende på vilken slags bränsle som används, avståndet mellan tillverkare och arbetsplatsen och vilken typ av fordon som ska transportera varorna. Enligt hållbarhetsrapporten från Setra Group AB (2021), använder företaget diesel med en inblandning på minst 32 procent förnyelsebart och HVO för interna transporter. Detta har beräknats vara 16,2 kWh/m<sup>3</sup> sågad vara (Fig. 18).

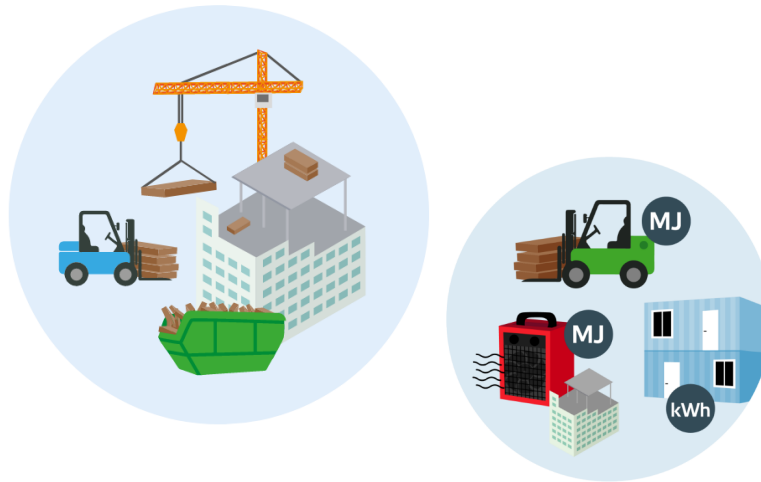


Figur 18: De senaste fem åren har dieselförbrukningen ökat med 7 procent och andelen biodiesel växt till 46 procent, vilket visas i grönt (Setra group AB, 2021).

- **A5: Bygg och installationsprocessen**

Detta skede omfattar klimatpåverkan från när byggnaden uppförs och transport av byggprodukter som blir till spill på byggarbetsplatsen vid uppförandet av byggnaden. All användning av olika slags energi såsom el, värme och bränsle inkluderas och tillsammans med byggspill anger dessa indata för klimatpåverkan av produktionsskedet (Fig. 19) (Boverket, 2022 b).





Figur 19: Byggproduktionsskede (A5) omfattar indata om byggspill och energi (Boverket, 2022 b).

Enligt Heravi och Trogen (2021) är orsaken till onödigt materialspill på grund av tidsbrist, dålig planering och att produkterna inte är måttanpassade och oftast kapas på bygget. Enligt undersökningen går det att åtgärda och minska materialspill genom att köpa måttanpassade produkter. I studien rekommenderas även att använda materialrester i andra arbeten på byggarbetsplatsen (Heravi & Trogen, 2021). Att installera ytterväggar bestående av träelement och annat material, som bland annat gipsskivor och isolering, vid uppförande av byggnaden, inkluderar olika typer av energianvändning och transport. Enligt IVL Svenska Miljöinstitutets (2020) schabloner för byggarbetsplatsen beräknats för detta skede (A5) avger aktiviteter såsom elanvändning för drift (el och uppvärmning) av byggbodnar samt i byggnad under uppförande förbelysning, verktyg och hiss etc. cirka 11 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA . Dessutom antogs 3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA för småhusbyggande, detta schablonvärde omfattar bränsle till dieseldrivna arbetsmaskiner (exkl. markarbeten) för transporter på arbetsplatsen, mobilkran, snöröjning. Totalt avger ett småhusbyggande 14 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2020). Det är dock viktigt att notera att värdena inte tar hänsyn till typ av byggnadsmaterial, vilket kan variera mellan olika byggmaterial.

### 3.4.2 Betongs livscykel

- **A1: Resursanskaffning**

Kalksten är en viktig råvara för tillverkning av cement. Kalksten utvinns främst genom bergborrning och sprängningar. Sedan samlas de lossnade stenarna upp vid stembrottet med hjälp av stora grävmaskiner (EuLA, u.å.).

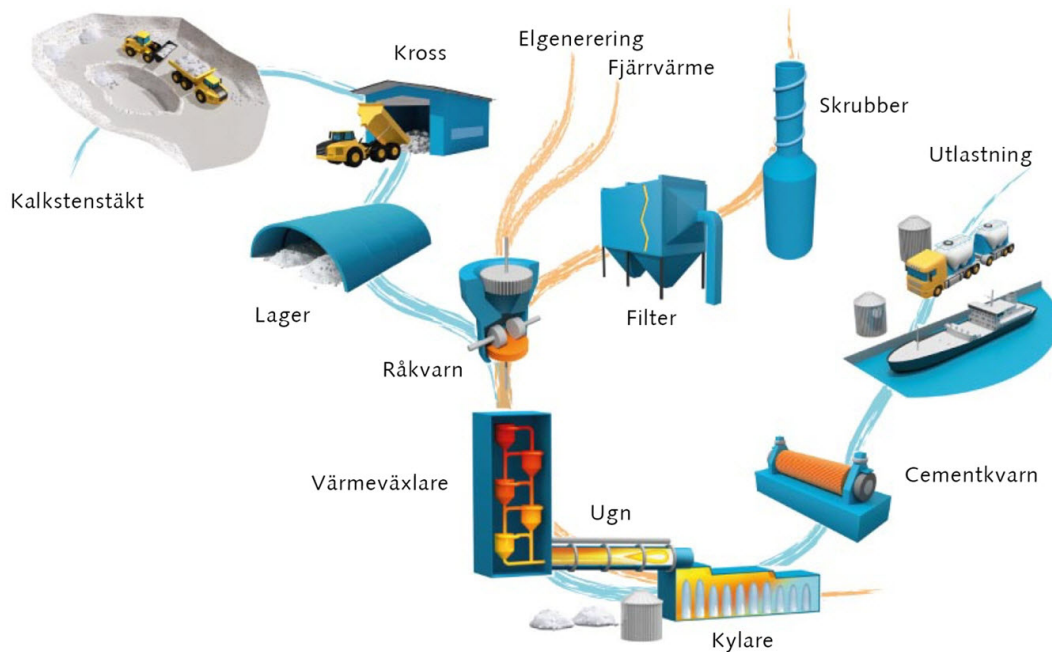
Ballast är en annan viktig råvara vid tillverkning av betong. Enligt Heidelberg Materials (u.å. a), som är en internationell tillverkare av byggmaterial, så påbörjas tillverkning av ballast genom sprängningar vid bergtäkten. Vid sprängningar bryts stora stenblock loss från berget, därefter krossas de ner till makadam.

- **A2: Transport till tillverkningen**

Efter sprängningarna transporteras råmaterialet med dumpers, lastbilar eller transportband till de primära krossarna, där råmaterialet krossas eller mals till olika storlekar beroende på användningsområde (EuLA, u.å.).

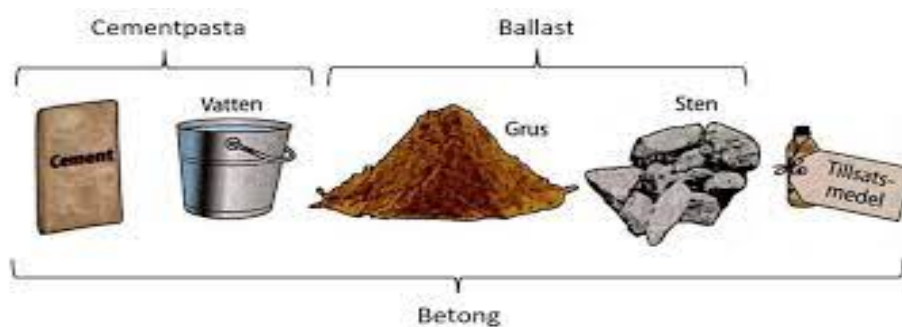
- **A3: Tillverkning**

Cement består huvudsakligen av kalciumoxid, även känt som bränd kalk, kalksten används även i asfalt, glas och gummi. För att tillverka cement, så mals kalkstenen (kalciumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ ) ner till pulver och sedan blandas den med lera, därefter bränns de tillsammans i hög temperatur nära 1450 grader °C, som konsekvens av detta frigörs koldioxid  $\text{CO}_2$  och efter denna process kvarstår kalciumoxid  $\text{CaO}$  (Fig. 20) (Naturskyddsföreningen, 2023). Enligt SGU (Sveriges geologiska undersökning, 2021) finns sedimentära kalksten i Sverige främst på Gotland och Öland, och även på vissa platser i Västergötland och Skåne. Tillverkningen av cement resulterar i stora mängder koldioxidutsläpp. Enligt Naturskyddsföreningen (2023) kan tillverkningen av ett ton cement leda till omkring 700-800 kilo koldioxidutsläpp. Även användningen av fossila bränslen, för att hetta upp kalksten vid cementtillverkning, är en orsak till mer utsläpp av koldioxid i luften. Betong tillverkas huvudsakligen av vatten, cement och ballast.



Figur 20: Cementproduktion steg för steg (Heidelberg Materials, u.å. b)

Betongs egenskaper bestäms främst av förhållandet mellan mängden vatten och cement (SGU,2021). Betong består av 85% sand, grus och vatten och resterande 15% är cement och tillsatsmedel (Fig. 21) (RI.SE, u.å.). När cement och vatten blandas sker en kemisk reaktion som kallas för hydratation. Reaktionen gör att betongen successivt härdar. Idag används även andra tillsatsmedel i betongen för att uppnå de önskade egenskaperna såsom styrka, elasticitet och hållbarhet hos betongen (SGU, 2021).



Figur 21: Betongens beståndsdelar (Burstrom & Nilvèr, 2021)

Betong är det mest använda byggmaterialet runt om i världen. Upp till 95% av betongens koldioxidutsläpp kommer från cementtillverkningen (RI.SE, u.å.). Naturskyddsföreningen (2023) uppger att omkring 4,5 miljarder ton cement tillverkas i världen per år, och det leder till 2,7 miljarder ton koldioxidutsläpp, vilket motsvarar

8% av det globala utsläppet. I Sverige producerades år 2020, enligt Naturskyddsföreningen(2023), 2,8 miljoner ton cement. Ett sätt att minska koldioxidutsläppen från cementen är att använda andra bindemedel som kan ersätta en del av cementen i betongen. Kalcinerade leror, flygaska och slagg, (slaggar är en avfallsprodukt som uppstår vid ståltillverkning och har liknande egenskaper som cement), är exempel på sådana bindemedel som fungerar som cement och kan ersätta cement till viss del (RI.SE, u.å.). 90% av all cement som används i Sverige produceras faktiskt i Sverige och resten importeras från andra länder inom Europa.

- **A4: Transport till bygge**

Prefabricerade betongelement transporteras med tåg eller lastbil från fabriken till byggarbetsplatsen. Platsgjuten betong transporteras med betongbilar (roterbilar) till byggarbetsplatsen. En vanlig lastkapacitet för dessa betongbilar är mellan 5,5 och 7,5 kubikmeter. Mängden betong som får lastas i en betongbil styrs oftast av tillåtet bro- och vägbelastning (Svensk Betong, 2023). Transporten av betong från betongtillverkare till byggarbetsplatsen orsakar stora mängder koldioxidutsläpp. Svensk Betong, som är en av de ledande leverantörerna av färsk betong i Sverige, föreslår att det ska användas eldrivna betongbilar för transport av betong vilket skulle leda till mindre koldioxidutsläpp (Svensk Betong, 2023 ).

- **A5: bygg och installationsprocessen**

Vid byggnation med betong finns det två huvudsakliga produktionsmetoder: platsgjuten och prefabricerad betong.

Vid platsgjuten betong körs färsk betong till byggarbetsplatsen med hjälp av roterbilar, därefter pumpas den färska betongen med hjälp av rotumpar i prefabricerade armeringsenheter. Platsgjuten betong är mer flexibel i designen, och man har även möjligheten att lägga installationer i stommen.

Med prefabricerad betong menas att olika byggnadsdelar förtillverkas på en fabrik. Därefter transporteras byggnadsdelarna med lastbil till byggarbetsplatsen, sedan monteras de färdiga byggnadsdelarna ihop med hjälp av mobila kranar. Stationära kranar är mer fördelaktiga att använda vid flervåningsbyggnader, på grund av att de kan bära tunga laster på ett säkert sätt. Fördelen med prefabricerad betong är att de är lämpliga för projekt där man behöver tillverka stora volymer av samma produkt, vilket resulterar i en kortare byggtid och därav kan man spara pengar och tid.

I många byggprojekt, för att kunna uppnå bästa möjliga resultat, används en kombination av olika produktionsmetoder (Ovanstående information kommer från Svensk Betong, 2023).

Beräkning av mängd användning av el och bränsle på byggarbetsplatsen visas under rubriken Bilaga 1. Därefter kommer miljöpåverkan från användning av el, värme och bränsle under bygg- och installationsprocessen att beräknas med hjälp av programmet One click LCA som redovisas under rubriken Resultat.

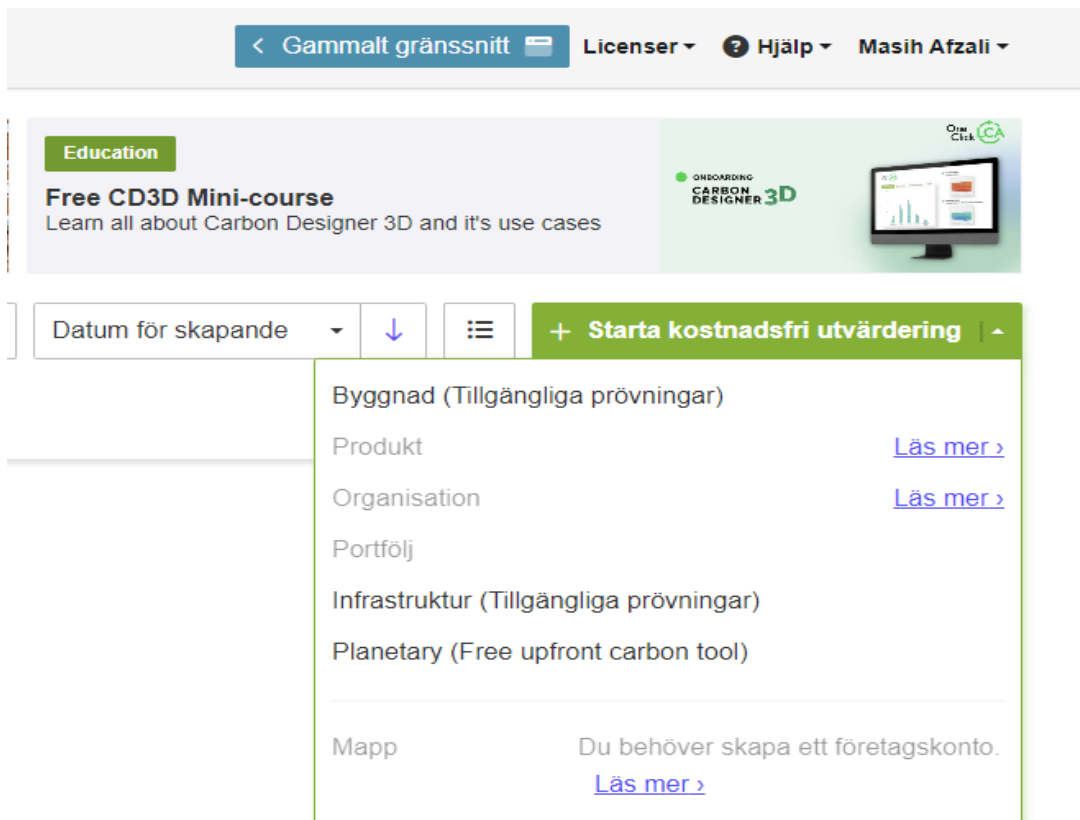
## 4. Resultat

I denna analysbaserade studie har resultatet framkommit genom en kombination av litteraturstudier och användning av beräkningsprogrammet One Click LCA. Genom litteraturstudierna har mer information samlats in om både betong och trä som byggmaterial, vilket bidrar till en grundlig förståelse av de två materialens egenskaper, styrkor och svagheter. Beräkningsprogrammet One Click LCA har använts för att göra livscykelanalys av båda materialen och därmed få en överblick över deras miljöpåverkan från råmaterialproduktion till användning/installering i bygget, det vill säga LCA-skedena A1-A5. Mängdberäkning av olika material som ingår i trä och betongkonstruktionen redovisas i tabeller 1 och 2 under kapitlet “*Bilagor*”. Genom att kombinera informationen från litteraturstudierna och beräkningsprogrammet har resultatet av studien kunnat ta hänsyn till både de teoretiska fakta och numeriska data som har baserats på produktspecifika EPD:er. Resultaten från One click LCA redovisas i form av diagram och tabeller, som visar ytterväggarnas miljöpåverkan i enheten kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter golvyta ( $\text{kg CO}_2\text{-ekv/m}^2 A_{\text{temp}}$ ). Alla diagram och figurer som kommer under detta kapitel hämtades från LCA-beräkningsprogrammet One Click LCA.

## 4.1 Genomförandet av One Click LCA

One click LCA är ett av världens ledande mjukvaruprogram för beräkning av miljöpåverkan av en produkt under hela produktens livscykel. Programmet hjälper till att beräkna och minska miljöpåverkan för byggnader på ett enkelt och effektivt sätt. Programmet används på 11 olika språk och över 140 länder runt om i världen, dessutom innehåller One click LCA en omfattande och uppdaterad databas med över 150 000 dataset (Symetri, u.å.). Man kan välja att mata in data manuellt i programmet one click LCA eller importera data direkt från andra program som Excel, BIM, Revit, IFC och andra verktyg och på det sättet kan man göra LCA-analyser direkt från modeller. Dessa analyser leder till att man kan hitta svaga punkter i projektet och även möjligheter till förbättringar av projektet (One Click LCA, u.å.).

Detta LCA-beräkningsprogram är en webbapplikation som kräver att man först skapar ett konto. Beroende på vilken typ av projekt man har, behöver man också ha tillgång till en licens. Genom att klicka på "*Starta kostnadsfri utvärdering*" får man upp en lista där man ska välja första alternativet "*Byggnad*" (Fig. 22). Sedan kommer man till en sida, såsom figur (23) visar, där behöver man ge projektet ett namn, specificera vilken byggnadstyp det är, välja land och ange bruttoarea ( m<sup>2</sup>) samt antal våningar över marken för byggnaden som analysen ska utföras på. I detta fall fick vi skapa två separata projekt som fick namnen (Enplanshus - Trästomme och Betongstomme), byggnadstypen valdes till "*One-dwelling buildings*", landet till Sverige och bruttoarean fastställdes till 150 kvadratmeter. Sist men inte minst bestämdes antal våningar över marken till 1, enligt förutsättningar i denna studie.



Figur 22: Bilden visar startsidan i One Click LCA där man startar en projektutvärdering (One Click LCA, 2023).

Därefter behöver man mata in information om “*Byggnadens material*”, “byggarbetsplatsen” och “byggområdet” samt “*Information om byggnaden*” (Fig. 24). Under varje flik behöver man dessutom ange detaljerad information om byggprojektet, inklusive material, mängd av respektive material, energiförbrukning, avfallshantering och transport.


## Nytt projekt

1 Basic information      2 Optional informa...      3 First design

Länka projektet till följande licens [Ange en licensnyckel](#)

Välj

Namn (obligatoriskt)

Mapp 

Huvudsida (skapa eller gå med i ett företagskont...

Typ (obligatoriskt)

Om byggnaden har flera typer välj den mest lämpliga.

Välj

Land (obligatoriskt)

Sverige

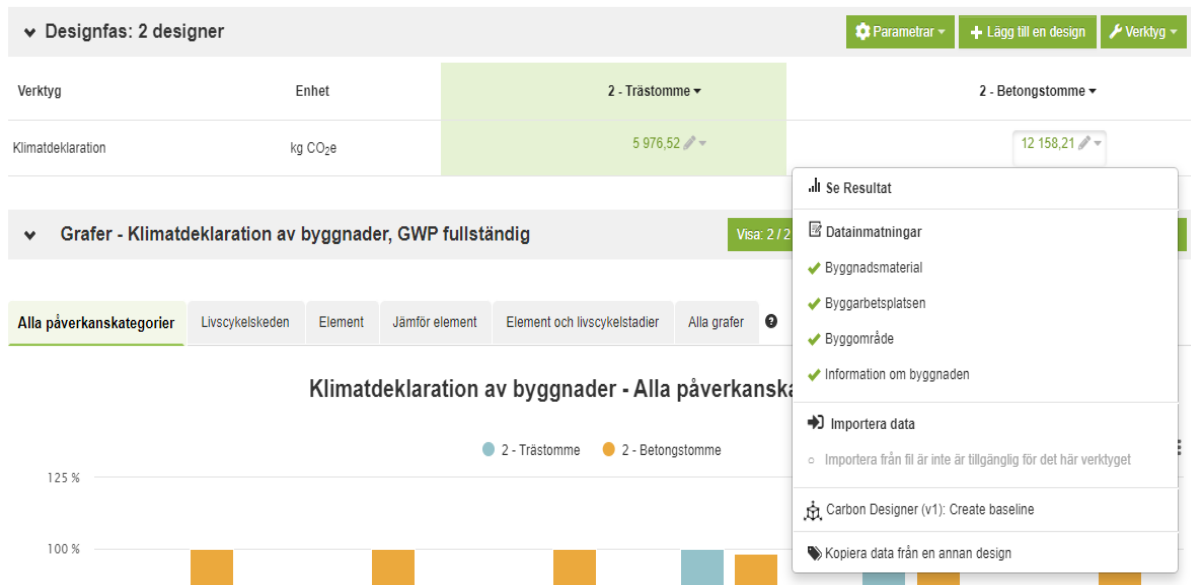
Adress

Ange åtminstone de uppgifter som är markerade som obligatoriska för att fortsätta.

Figur 23: Så skapar man ett projekt i One Click LCA (One Click LCA, 2023)

Går man in på fliken “*Byggnadsmaterial*” kan man lägga till samtliga material som ytterväggarna består av (Fig. 24). För att kunna komma fram till ett resultat behövde vi genomföra en mängdberäkning manuellt för respektive stomsystem: trä- och beongstomme (Bilaga 1). Det är även viktigt att betona att när vi matade in materialmängder, separerade vi på de sammansatta materialen och lade till de som två enskilda material. Exempelvis installationsskiktet i träkonstruktionen lades till som träreglar och isolering, detta redovisas tydligt i mängdberäkningen (Bilaga 1).





Figur 24: Inmatning av data i One Click LCA (One Click LCA, 2023).

Gällande “Byggarbetsplats”, “Byggområde” och “Information om byggnaden” samlade vi in information, från olika pålitliga källor, om bland annat vilka slags energi som förekommer på arbetsplatsen och hur mycket som behövs till byggandet. Det är viktigt att påpeka att hitta vissa klimatdata var svårt, därför gjordes några antagande med hjälp av råd som vi fick av vår handledare samt andra föreläsare i vår utbildning. Mer information om detta kan hittas i Bilaga (1).

## 4.2 Resultat av träkonstruktionen (One Click LCA)

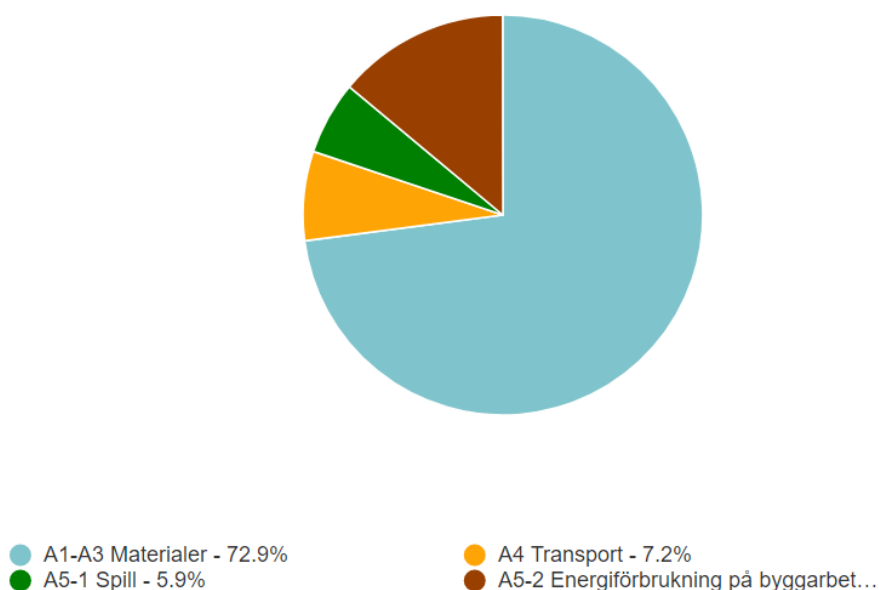
Nedan visar figur (25) den totala mängden koldioxidekvivalenter per kvadratmeter under livslängden (A1-C4) av yttervägg med regelverk av trä, vilket beräknas vara 38 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Ser man till figuren (26) märker man att material-produktionsprocessen (A1-A3) står för 72,9% av det totala koldioxidutsläppet under de bärande väggarnas livscykel, detta är intressant att notera även om studien inte innefattar hela LCA:an.

Vagga till grav (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
( < 200 ) A	38
( 200-250 ) B	
( 250-300 ) C	
( 300-350 ) D	
( 350-400 ) E	
( 400-450 ) F	
( > 450 ) G	

Figur 25: Till vänster ser man riktvärde för inbäddad koldioxid och till vänster visar figuren procentsats av alla skedena i LCA (One Click LCA. 2023).

Diagrammen nedan redovisar resultat som har räknats fram i programmet One Click LCA, omfattar livscykelkedena A1-5 för ytterväggar bestående av trä. Det totala koldioxidutsläppet från trästomme, från skedena A1-5, uppgår till 6010 kilogram koldioxidekvivalenter. Detta motsvarar cirka 40,07 kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter golvyta, vilket har beräknats fram genom att dividera 6010 kg CO<sub>2</sub>e på 150 m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> (se tabell 2). I Figur (26) kan man även se den procentuella fördelningen för skedena A1-3, A4 samt A5 separat.

GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Livscykelkedan



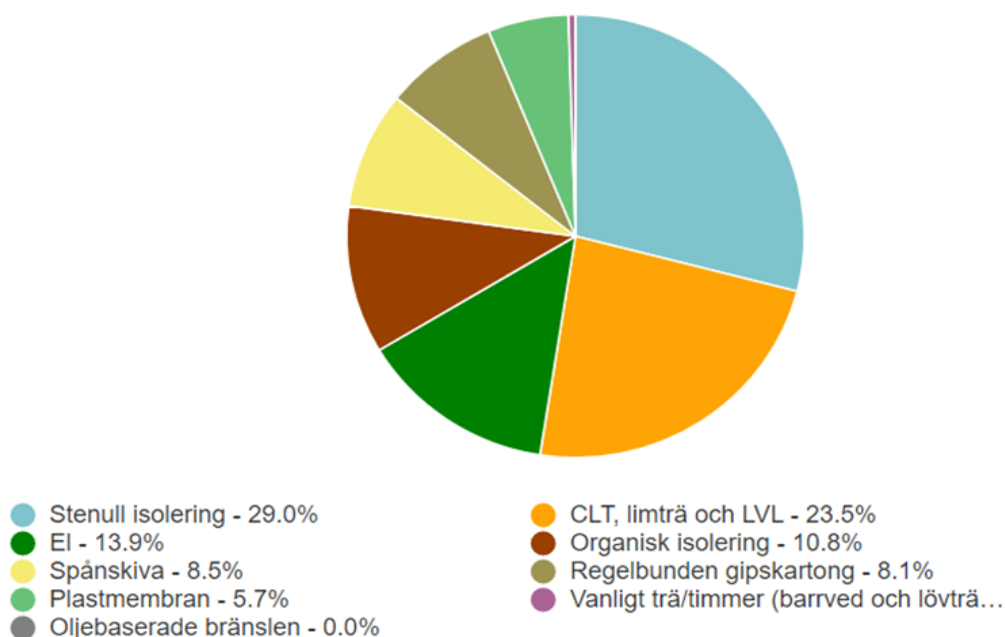
Figur 26: Paj-diagrammet visar den beräknade procentsatsen av det totala CO<sub>2</sub>-utsläppet orsakad av skedena A1-A3, A4 & A5 för yttervägg i trä (One Click LCA. 2023).

Tabell 2 : GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Livscykelkedan.

Objekt	Värde [kg CO <sub>2</sub> e]	Värde/A <sub>temp</sub>	Enhet	Procentsats %
A1-A3 Materialer	4400	29.33	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	72.94 %
A4 Transport	430	2.87	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	7.2 %
A5-1 Spill	350	2.33	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	5.93 %
A5-2 Energiförbrukning på byggarbetsplatsen	830	5.53	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	13.93 %
Summa	6010	40.07	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	100%

Tabell (3) och figur (27) visar resultat av olika resurstyper, exempelvis material specifika koldioxidutsläpp av omslutande ytterväggar, och dessa siffror har adderats ihop till totalt 5928,2 kilogram koldioxidekvivalenter som motsvarar 39,52 kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter golvyta. Det visar sig att KL-trä avger cirka 1400 kilogram koldioxidekvivalenter, vilket gör det till det näst största utsläppet efter stenullisoleringen som avger 300 kilogram koldioxidekvivalenter mer än KL-trä. Kollar man noggrant på tabellen inser man att det inte bara finns materialens CO<sub>2</sub>-utsläpp utan även andra resurstyper såsom el och bränsle. I och med att programmet (One Click LCA) använder produktspecifika data (EPD), innebär det att typresurserna, El och bränsle, är en del av LCA-skedena A1-A5, och delarna som innefattas av klimatdeklarationen (tabell 3).

GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Resurstyper



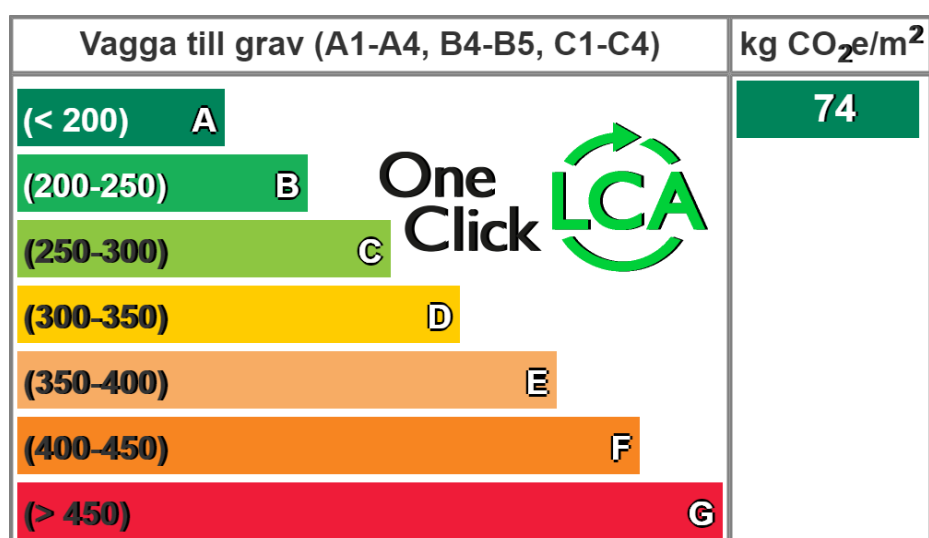
Figur 27: Mängd CO<sub>2</sub>e utsläpp för olika delar av träkonstruktionen (One Click LCA. 2023).

Tabell 3: GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Resurstyper

Objekt	Värde [kg CO <sub>2</sub> e]	Värde/A <sub>temp</sub>	Enhet	Procentsats %
Stenull isolering	1700	11.33	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	29.02 %
CLT, limträ och LVL	1400	9.33	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	23.47 %
El	830	5.53	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	13.93 %
Organisk isolering	640	4.27	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	10.78 %
Spånskiva	510	3.40	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	8.52 %
Regelbunden gipskartong	480	3.20	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	8.1 %
Plastmembran	340	2.27	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	5.7 %
Vanligt trä/timmer (barrved och lövträ)	28	0.19	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	0.47 %
Oljebaserade bränslen	0.2	0.00	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	0.0 %
Summa	5928.2	39.52	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	100 %

### 4.3 Resultat av betongkonstruktionen (One Click LCA)

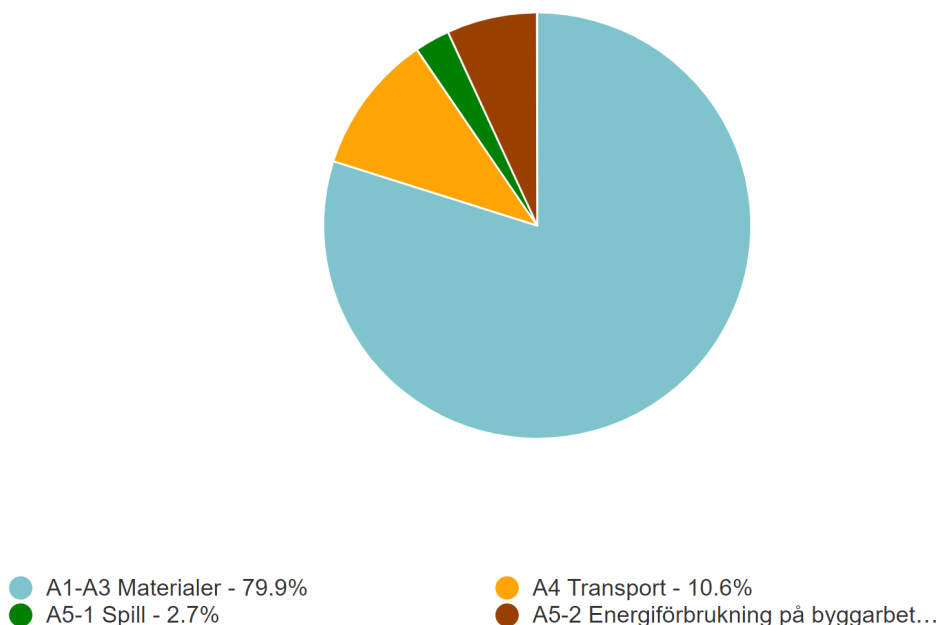
Diagrammet nedan (Figur 28) visar den totala mängden koldioxidekvivalent per kvadratmeter under betongens livslängd (A1-C4), vilket motsvarar 74 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>. Mängden koldioxid som släpps i de olika skedena A1-A5, redovisas i tabell och diagramform ( tabell 4, figur 29 och 30). Enligt beräkningar från LCA som visas i tabell 4 släpps totalt 12150 kg CO<sub>2</sub>e under byggskedet för en byggnad med ytterväggar av betong.



Figur 28: Klimatpåverkan av betongstomme under skedet A1-A5 (One Click LCA, 2023).

Enligt figur (29) står skeden A1-A3 för den största delen av kg CO<sub>2</sub>e utsläpp med en procentandel på 79.9%. I dessa skeden ingår resursanskaffning, transport av råmaterial och tillverkningen av materialet. Skeden A4 (transport till bygget) står för 10.6% av det totala utsläppet.

### GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Livscykelkedan

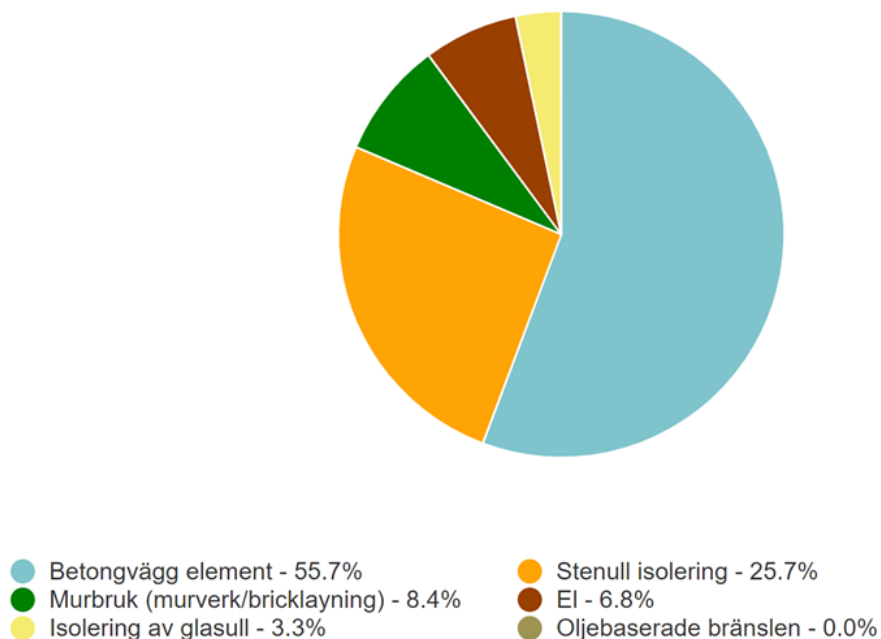


Figur 29: Den totala GWP (Global Warming Potential) av betongstomme som visas procentuellt under olika byggsleden (One Click LCA, 2023).

Tabell 4: Redovisning av den fullständiga GWP kg CO<sub>2</sub>e - Livscykelkedan

Objekt	Värde [kg CO <sub>2</sub> e]	Värde/A <sub>temp</sub>	Enhet	Procentsats %
A1-A3 Materialer	9700	64.67	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	79.89 %
A4 Transport	1300	8.67	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	10.6 %
A5-1 Spill	320	2.13	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	2.66 %
A5-2 Energiförbrukning på byggarbetsplatsen	830	5.53	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	6.85 %
Summa	12150	81.00	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	100%

### GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Resurstyper



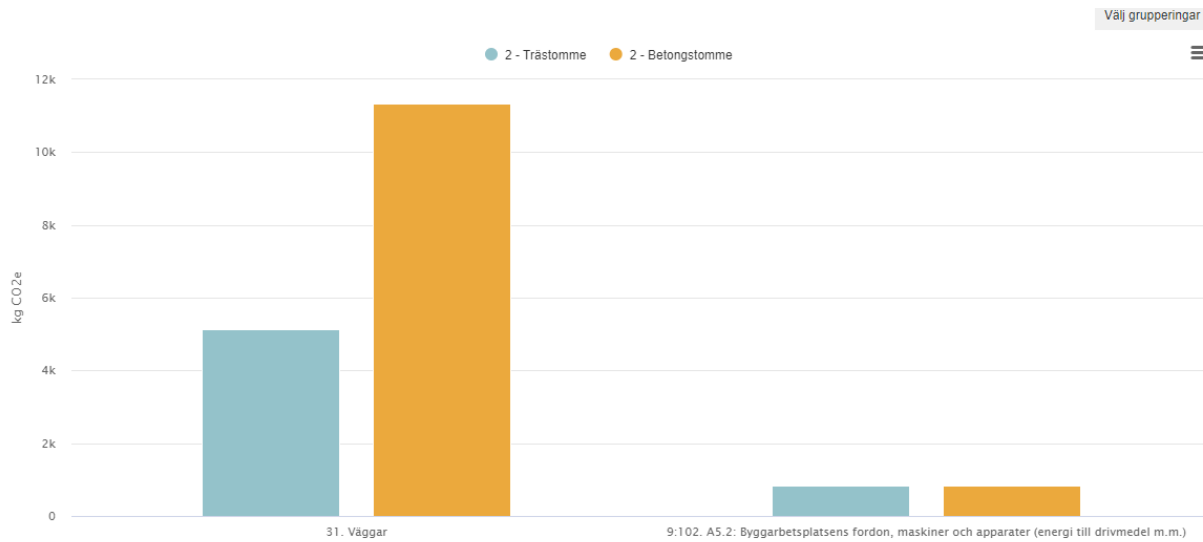
Figur 30: Mängd CO<sub>2</sub>e utsläpp för olika delar av betongkonstruktionen (One Click LCA, 2023).

Tabell 5: GWP fullständig kg CO<sub>2</sub>e - Resurstyper

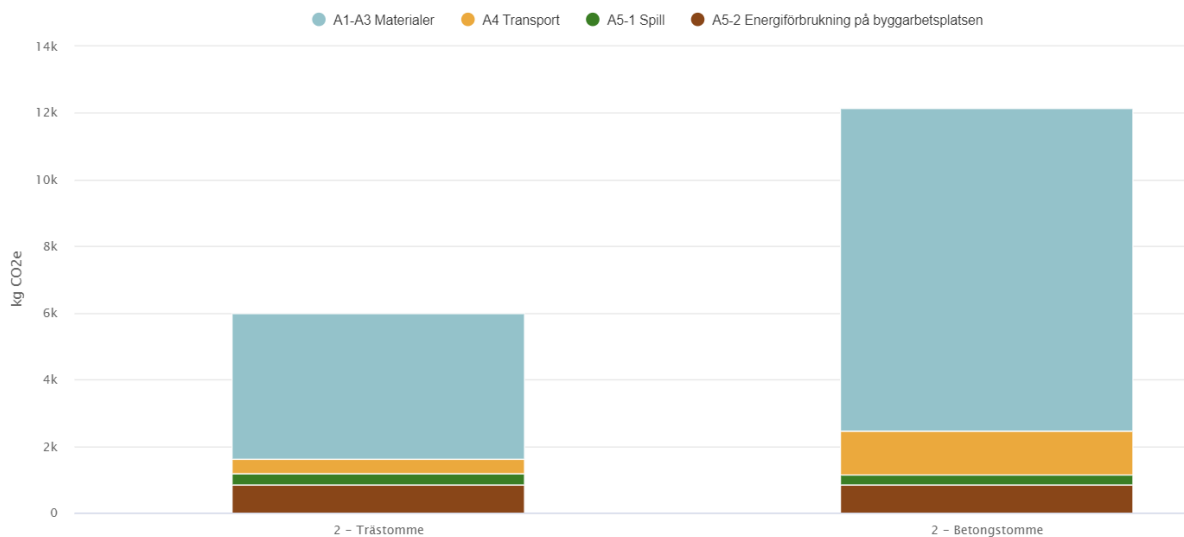
Objekt	Värde [kg CO <sub>2</sub> e]	Värde/A <sub>temp</sub>	Enhet	Procentsats %
Betongvägg element	6800	45.33	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	55.73 %
Stenull isolering	3100	20.67	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	25.67 %
Murbruk (murverk/bricklayning)	1000	6.67	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	8.44 %
EI	830	5.53	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	6.85 %
Isolering av glasull	400	2.67	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	3.3 %
Oljebaserade bränslen	0.2	0.00	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	0.0 %
Summa	12130.2	80.87	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	100%

Tabell (5) och figur (30) i studien ger en detaljerad översikt över det totala utsläppet för betongkonstruktionen. Resultatet visar tydligt att själva betongen har en stor miljöpåverkan, mer än hälften av det totala utsläppet för väggen står just betongen för. Det är även intressant att påpeka att Stenull ger näst mest utsläpp i betongväggen.

Figur (31) ger en tydlig bild av skillnaden i utsläpp mellan trä och betongkonstruktioner. Enligt resultatet från LCA som visas i figur (32), släpper betongkonstruktionen ut 6181,69 kg CO<sub>2</sub>e mer än träkonstruktionen.



Figur 31: Jämförelse av den totala mängd utsläpp CO<sub>2</sub>e för trä respektive betongstomme under byggskedet A1-A5 (One Click LCA, 2023).



Figur 32: Jämförelse av den totala mängd utsläpp CO<sub>2</sub>e för trä respektive betongstomme under byggskedet A1-A5 (One Click LCA, 2023).

## 5. Diskussion

Det finns en del begränsningar och faktorer som kan ha påverkat eller vinklat viss information i denna studie. En av dem är just trovärdigheten hos vissa källor som kommer från intressenter, till exempel Svensk Betong och Svenskt Trä. När det används en källa från en intressent måste man tänka på att den oberoende granskning som krävs för att säkerställa att forskningen är vetenskaplig korrekt och pålitlig kan saknas. Det finns även risk för att intressenten kan presentera osann information eller överdrivna resultat för att gynna deras intresse. Därför minskas trovärdigheten och objektiviteten hos källan. Därför är det viktigt att analysera källorna noggrant och även leta efter andra oberoende källor för att få en mer tillförlitlig bild av ämnet. I denna studie förekommer även användning av examensarbeten som referensmaterial, för att det har varit betydelsefullt att jämföra resultat från andra liknande studier. Detta för att kunna förstärka vårt resultat samt även för att kunna presentera jämförelsen mellan vår studie och andra tidigare genomförda arbeten. Genom detta har vi kunnat förstå att resultaten av sådana studier kan variera mycket i och med att det används olika metoder och beräkningssätt av LCA. Såklart finns det både styrkor och svagheter i tillvägagångssättet i denna undersökning och andra liknande undersökningar, beroende på vad man fokuserar på, vilka begränsningar man har och hur noggrant man samlar in materialdata.

Resultatet från programmet One click LCA visar tydligt att betongstommen släpper ut mycket mer koldioxid jämfört med trästommen (Fig. 31). Betongväggens totala koldioxidutsläpp är  $12150 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ , vilket är dubbelt så högt jämfört med träväggens utsläpp som är på  $6010 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ . Speciellt under skeden A1-A3, det vill säga under skedena för resursanskaffning, transport till tillverkning och tillverkning, skiljer sig utsläppen av koldioxid märkbart mellan de två materialen. Den stora skillnaden beror främst på cementtillverkningen. Som tidigare konstaterats kommer upp till 95% av betongens koldioxidutsläpp från cementtillverkningen (RI.se, u.å.). Det är dock intressant att notera att resultatet från LCA, som redovisas i figur (29), visar att endast 80% av det totala koldioxidutsläppet sker under skedena A1-A3. Det kan bero på att den andra källan (RI.SE, u.å.) har använt en annan väggkonstruktion med andra material som skiljer sig från den som används i denna studie. En annan faktor som kan påverka resultaten är användningen av olika program för att beräkna det totala koldioxidutsläppet för väggstommen. Därför är det viktigt att notera att resultaten från olika studier kan variera beroende på vilket program och



vilka data man använder för beräkning av det totala koldioxidutsläppet från byggmaterial eller konstruktioner.

Svaret på frågan om vilket av dessa material som är lämpligast och mest miljövänligt att bygga hus med är tydligt; enligt LCA-resultatet är trä ett mer miljövänligt val. Trots resultatet från One click LCA-programmet, finns det dock andra faktorer som måste tas hänsyn till vid val av material för husbyggnad. Till exempel har trä jämförts med betong sämre fuktmotstånd och är mindre brandsäkert jämfört med betong. Detta i sin tur leder till att träkonstruktionen måste behandlas med brand-och fuktskyddsmedel för att kunna behålla sin hållbarhet och även uppfylla säkerhetskraven. Resultatet blir att den totala miljöpåverkan ökar. Det är viktigt att påpeka att träväggar dessutom kräver olika typer av behandlingar, såsom regelbunden målning eller fuktskyddsmedel, för att kunna behålla sin funktion och överleva i hundra år. Dessa faktorer har dock inte tagits med i beräkningarna av koldioxidutsläppet, vilket innebär att jämförelsen mellan trä- och betongväggar inte blir helt korrekt och rättvis. Betongväggar kräver alltså inte lika mycket behandling, vilket leder till mindre underhållskostnad och mindre koldioxidutsläpp över tid.

En annan faktor som ska beaktas vid husbyggandet är att tänka på materialets hållfasthet. Trä har lägre hållfasthet och är känsligare för deformationer. Därför blir det svårt att använda trä i stora byggnader där det förekommer stora belastningar. Men däremot är betong ett mycket hållfast material som kan användas till att bygga stora och stabila byggnader. Trä och betong har många för- och nackdelar. Därför är det viktigt att valet av byggmaterial alltid baseras på en helhetsbedömning av de specifika krav och behov som ställs för varje byggprojekt, så att man kan göra "rätt" val av byggmaterial, dvs. att man gör ett val som både är funktionellt och miljövänligt.

Resultatet för det totala koldioxidutsläppet har jämförts med en tidigare studie av två studenter på den Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Abdulal och Chamoun (2021), som skrev ett examensarbete om "*Jämförelse av KL-trä och grön betong för ytterväggar med avseende på LCA och LCC*". Det visar sig att det finns både likheter och skillnader i resultatet mellan de två studierna. En likhet är att båda visar att det under skedena A1-A3 släpps ut mest koldioxid. Dessutom visar båda studierna att mängden koldioxidutsläpp för trättyterväggen är likartat. I vår studie släpper trättyterväggen 6010 kg CO<sub>2</sub>e, medan i Abdulal och Chamouns (2021) studie släpper den 7271 kg CO<sub>2</sub>e. Anledningen till att utsläppen för trättyterväggen är ganska lika i båda studierna, kan vara för att det används KL-trä i båda konstruktionerna. Att det

släpps mer koldioxid i Abdulal och Chamouns (2021) studie jämfört med denna studie kan bero på att de använder andra material i sin konstruktion, eller att de använder sig av andra data- och beräkningsprogram.

Den stora skillnaden mellan de två studierna är betongväggens koldioxidutsläpp, som skiljer sig avsevärt. I denna studie släpper betongväggen 12150 kg CO<sub>2</sub>e, medan i Abdulal och Chamouns (2021) studie släpper betongväggen mer än dubbelt så mycket koldioxid, 28516 kg CO<sub>2</sub>e. En förklaring till denna skillnad kan vara att betongväggen som valdes i denna studie är en halvsandwichvägg med 400 mm tjocklek medan deras är en helsandwichvägg med en tjocklek på 440 mm. Det betyder att det ingår mer betong i deras yttervägg och det förklarar det högre koldioxidutsläppet.

Om vi tar i beaktande en liknande studie som Salar och Hajsaid (2022) genomförde, där de noggrant analyserade jämförelsen mellan byggmaterialena trä och betong för ett flerbostadshus. Resultaten av deras studie visar att det totala koldioxidutsläppet som stommaterialet betong avger är cirka 200 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, medan stommaterialet trä avger 128 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. I jämförelse med våra resultatvärden så visar det att deras trästomme avger betydligt mer koldioxid. Enligt deras resultat avger betongstommen cirka 72 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> mer än trästommen (tabell 6). Detta innebär att trästommen avger 36% mindre koldioxid än betongstommen enligt deras studie. I vår studie visar resultaten att trästommen avger 50,6% mindre koldioxid än betongstommen. Att procentsatsen för Salar och Hajsaid-studien är mindre än den aktuella studien beror såklart på faktorer såsom storleken på golvytan, ytterväggarna, vilken typ av väggkonstruktion det är samt vilka byggdelar har inkluderats i beräkningen.

Tabell 6: Sammanställning av studiernas resultat som visar hur mycket mer betongstomme avger i jämförelse med trästomme.

	<b>Studie av Salar &amp; Hajsaid (2022)</b>	<b>Vår studie</b>
<b>Betongstomme</b>	200 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]	81 [kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]
<b>Trästomme</b>	128 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]	40 [kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]
Differens	72 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]	41 [kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]

Studien bekräftar även att LCA-skedena A1-A3 (Materialproduktion) står för den största procentuella delen av det totala koldioxidutsläppet vid tillverkning av byggelement för respektive material: trä och betong, dock skiljer sig procentsatserna från Salar och Hajsaid's studie till vår studie, detta ser man i tabell (7), nedan.

Tabell 7: Sammanställning av resultat som visar en jämförelse mellan studierna för LCA-skedena A1-A3.

<b>*Procentsatserna gäller under LCA-skedena A1-A3.</b>	<b>Trästomme</b>	<b>Betongstomme</b>
<b>Vår studie</b>	72,9%	79,9%
<b>Studie av Salar &amp; Hajsaid (2022)</b>	61%	73%

En förklaring till varför värdena varierar stort mellan studierna kan bero på olika beräkningsmetoder, olika typer av byggnader (flerbostadshus och enplanshus), olika förutsättningar och avgränsningar. Det kan också bero på att man fokuserar på hela livscykeln (vagga till grav) eller en del av materialets livscykel i undersökningen. Just studien av Salar och Hajsaid (2022) undersöker ett flerbostadshus som inkluderar beräkning av både bjälklag och lastbärande väggar. Dessutom så innefattar deras undersökning hela livscykeln, det vill säga byggskede, användning, underhåll, rivning och hantering av avfall. I detta fall använder vi oss av ett LCA-beräkningsprogram som utgår från produktspecifika materialdata (EPD), studien i jämförelsen har baserat LCA-beräkningar på schablonsvärden som har hämtats från leverantörer.

Det är också viktigt att poängtera att studiens resultat endast visar utsläppen under några specifika byggskedena, skedena A1-A5, och inte hela materialets livscykel. Därför bör hela livscykeln för dessa material studeras, för att få en mer tydlig och korrekt bedömning av vilket av de två materialen som påverkar miljön mest. Tyvärr, på grund av begränsad tid, var det inte möjligt att genomföra en mer detaljerad studie som kunde inkludera hela materialets livscykel. Resultatet från denna studie kan därför vara en viktig grund för fortsatta studier för att undersöka och analysera hela materialets livscykel, för att kunna ta reda på materialets totala miljöpåverkan. En annan osäkerhet i denna studie rör tillgången på data om mängd bränsle och el som användes under själva byggandet av huset. Det visade sig vara mycket svårt,

nästan omöjligt, att hitta exakta uppgifter om el- och bränsleförbrukning på en byggarbetsplats. Det beror på att förbrukningen av el och bränsle varierar mellan olika byggnader beroende på vilka maskiner, verktyg eller metoder som används för att genomföra arbetet. Trots denna utmaning antogs ett värde för el- och bränsleförbrukningen med hjälp av riktlinjer från Boverket och med stöd från vår examinator (Urban Persson) och handledare (Torleif Bramryd). Därför är det viktigt att vara medveten om denna osäkerhet när man tolkar resultaten och drar slutsatser från denna studie.

## 6. Slutsats

Utifrån studiens resultat kan följande slutsatser dras:

- Resultaten visar att betongväggen har betydligt större miljöpåverkan och släpper ut mer koldioxid jämfört med KL-trä yttervägg.
- Det stora utsläppet för betongväggen kommer främst från cementtillverkning, eftersom det är en energikrävande process. Det görs ständigt nya framsteg inom byggbranschen för att minska betongens klimatpåverkan genom att använda andra bindemedel istället för cement. Kalcinerade leror, flygaska och slagg är exempel på sådana bindemedel som kan minska utsläppen av koldioxid.
- Trä är ett mer miljövänligt alternativ jämfört med betong. Det beror på att trä är förnybart, och kräver mindre energi vid tillverkningsprocessen. Men detta är inte hela sanningen med tanke på att resultatet från denna studie bara tar hänsyn till materialets koldioxidutsläpp under byggskedet (A1-A5) och inte hela materialets livscykel. Om hela materialets livscykel, det vill säga användningsfasen och slutskedet inkluderas, skulle skillnaderna i utsläppen kanske inte vara så stora. Det beror på att betongen har lång livslängd och mindre behov av underhåll jämfört med trähus. Detta i sin tur leder till mindre koldioxidutsläpp under betongshusets användningsfas.
- Resultatet från denna studie, tillsammans med tidigare studier, bekräftar att de största koldioxidutsläppen sker under tillverkningsprocessen, det vill säga skedena A1-A3. Därför är det viktigt och mer avgörande att satsa på att minska utsläppen i dessa skeden, till exempel genom att använda andra bindemedel eller använda sig av andra energieffektiva metoder för tillverkning av dessa material.

## 7. Förslag på vidare studier

Nedan följer några förslag på framtida studier som kan bygga vidare på den nuvarande studien:

1. Undersöka alternativa byggmaterial och deras miljöpåverkan
2. Hur kan man effektivisera cementtillverkning som kan leda till mindre koldioxidutsläpp.
3. Undersöka miljöpåverkan av betong och trä ytterväggar under hela deras livscykel.
4. Analysera möjligheterna för återanvändning och återvinning av byggmaterial, samt bedöma den ekonomiska fördelen i att välja dessa alternativ istället för att tillverka nya byggmaterial.
5. Undersöka klimatpåverkan av betong och trä för alla stomdelar, det vill säga hela huset.
6. Undersöka hur digitala verktyg kan användas för att minska de totala koldioxidutsläppen i byggbranschen.

## Referenser

Abulal B. & Chamoun G. (Juni 2021). *Jämförelse av KL-trä och Grön betong för ytterväggar med avseende på LCA och LCC*. Hämtat från:

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1620276/FULLTEXT01.pdf>

Arfvidsson J., Harderup L. & Samuelson I. (2017). *Fukthandboken - Praktik och teori*. Utgåva 4. AB Svensk Byggtjänst. Bulls Graphics, Halmstad 2017.(Sid. 504).

Boverket (2023). *Miljöindikatorer – aktuell status*. Hämtat från:

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/#:~:text=Bygg%2D%20och%20fastighetssektorns%20inhemska%20utsl%C3%A4pp,procent%202020%20j%C3%A4mf%C3%B6rt%20med%202019>.

Boverket (2022 a). *God bebyggd miljö – fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålet*.

Hämtat från:

<https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2022/god-bebyggd-miljo--fordjupad-utvardering-av-miljokvalitetsmalet/>

Boverket (2022 b). *Indata om energi*. Hämtat från:

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/underlag/indata-om-energi/>

Boverket (2022 c). *Dagsljus*. Hämtad från:

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ljus-i-byggnader/dagsljus/>

Boverket (2021 a). *klimatdeklaration av byggnader*. Hämtat från:

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/>

Boverket (2021 b). *Klimatdeklarationens omfattning*. Hämtad från:

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/>

Boverket (2019 a). *Metodval för LCA*. Hämtat från:

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sah-ar-gors-en-lca/metodval-for-lca/>

Boverket (2019 b). *Introduction till Livscykelanalys (LCA)*. Hämtat från:  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>

Boverket (2019 c). *Miljödata*. Hämtat från:  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljodata/>

Baker, (2022). *Trä och betong stomsystem från miljöns perspektiv*. Hämtat från:  
<https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/4fb4a420-6cf8-4633-b1be-33d39f4ed8fa/content>

Betongföreningen, (2023) *Detta är betong*. Hämtat från :  
<https://betongforeningen.se/materialet-betong/>

Eskilstuna energi & miljö (2021). *Elförbrukning för villa*. Hämtat från:  
<https://www.eem.se/privat/el/om-elavtal/elforbrukning-villa/>

European lime association (u.å.). *How lime is made*. Hämtat från :  
<https://www.eula.eu/about-lime-and-applications/production/>

Burström G. & Nilvèr K. (2021). *Byggnadsmaterial - Tillverkning, egenskaper och användning*. Upplaga 4. Studentlitteratur, Lund. (Sid. 632)

Heravi A. & Trogen A. (2021) *Materialspill i byggproduktion - Mot ett hållbart samhällsbyggande!*. Hämtad från:  
[https://www.gbgbf.se/wp-content/uploads/2022/06/materialspill\\_Trogen\\_Heravi.pdf](https://www.gbgbf.se/wp-content/uploads/2022/06/materialspill_Trogen_Heravi.pdf)

SurveyMonkey (uå). *Skillnaden mellan Kvantitativ och kvalitativ forskning*. Hämtad från:  
<https://sv.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>

Husgrunder (2020). *Allt om gjutning av betong*. Hämtat från:  
<https://www.husgrunder.com/betong/gjutning-betong-grunder-betongplatta/#betong-styrkor>

Heidelberg Materials (u.å. a), *Tillverkning av ballast*. Hämtat från:  
<https://www.ballast.heidelbergmaterials.se/sv/Jehander-produktionsprocessen>

Heidelberg Materials (u.å. b). *Cementproduktion steg-för-steg*. hämtat från:  
<https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/cementproduktion-steg-f%C3%B6r-steg>

Heidelberg Materials (u.å. c). *Karbonatisering- vad är det?*. Hämtat från:  
<https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/karbonatisering-vad-ar-det>

IVL Svenska Miljöinstitutet (2022). *Schabloner för byggarbetsplatsen A5.2-A5.5*. Hämtad från:  
<https://www.ivl.se/download/18.749e7d0817e4de59441ee23/1643644017279/11%20Schabloner%20f%C3%B6r%20byggarbetsplatsen%20A5%20v2%202022-02-01.pdf>

Ida Alsmarker & Daniela Eichler (2022). *Industriellt byggande i trä*. Hämtad från:  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1737778/FULLTEXT01.pdf>

Martinsons.se (u.å.). *Ljud- och brandegenskaper*. Hämtad från:  
<https://www.martinsons.se/kunskap-och-inspiration/konstruktionshjalp/material/objektanpassat-kl-tra/ljud--och-brandegenskaper/#:~:text=KL%2Dtr%C3%A4skivor%20kan%20anv%C3%A4ndas%20som,inom%20omr%C3%A5det%20100%E2%80%93250%20mm>

One click LCA (u.å.). *Användarvänlig och kraftfull Allt du behöver för att utforma grönare byggnader & få certifieringar*. Hämtat från:  
<https://www.oneclicklca.com/se/for-byggprojekt/livscykelanalys-programvara-2/>

RI.SE (u.å.). *Vanliga frågor om cement och betong*. Hämtat från:  
<https://www.ri.se/sv/berattelser/vanliga-fragor-om-cement-och-betong>

Naturskyddsföreningen (2022). *Cement, klimat och miljö*. Hämtat från:  
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>

Persson U. (2021). *Klimatdeklaration*. Hämtad från: Munligt föreläsning.

Salar D. & Hajsaid H. (2022). *LCC och LCA för stommaterialen KL-trä och betong - En jämförande fallstudie av Täby hus 7-8*. Hämtad från:  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1682941/FULLTEXT01.pdf>

Sweden Green Building Council (2023). *Vad är NollCO2? – utveckling*. Hämtat från:  
<https://www.sgbc.se/utveckling/utveckling-av-nollco2/vad-ar-nollco2/>



Sveriges miljömål (2020). *Sveriges miljömål och de globala hållbarhetsmålen*. Hämtad från: <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/sveriges-miljomal-och-de-globala-hallbarhetsmalen/>

Svensk Betong (u.å.). *fakta/egenskaper*. Hämtat från: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper>

Svensk Betong (uå) Brand. Hämtat från: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/brand>

Sveriges geologiska undersökning (2021). *Cement och betong*. Hämtat från: <https://www.sgu.se/mineralnaring/industrimineral/cement-och-betong/>

Svensk Betong (2023). *Produktionsmetoder*. Hämtat från: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/produktionsmetoder>

Svensk Betong (2023 ). *Transporter*. Hämtat från: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/transporter>

Svensk Betong (2022 ). *Betong ger god ljudmiljö inomhus*. Hämtat från: <https://www.svenskbetong.se/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=61&Itemid>  
≡

Setra.se (u.å.). *Klimatpåverkan*. Hämtad från: <https://www.setragroup.com/sv/hallbarhet/klimatpaverkan/>

Shirvani A. Lin M (2020). *En fallstudie av två byggprojekt och två byggsystem*. Hämtat från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1592496/FULLTEXT01.pdf>

Svenselius M. (2017). *Vi mår bra av trä*. Hämtad från: <https://liu.se/artikel/vi-mar-bra-av-tra>

Svenskt Trä (2020). *Att välja trä - en faktaskrift om trä*. Hämtad från: <https://www.svensktra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/avt-2020-72ppi.pdf>

Svenskt Trä (2017). *KL-trähandbok - Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*.

Hämtad från:

<https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/svt-kl-trahandbok-2017.pdf>

Svenskt Trä (2015 a). *Miljöprofil för sågad vara*. Hämtad från:

<https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljodeklarationer-och-markning/miljodeklarationer-och-markning/miljoprofil-for-sagad-vara/>

Svenskt Trä (2015 b). *Träprodukter lagrar kol*. Hämtad från:

<https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljoeffekter/miljoeffekter/traprodukter-lagrar-kol/>

Svenskt Trä (u.å. a). *Byggande*. Hämtad från:

<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/#:~:text=I%20dag%20st%C3%A5r%20de%20moderna,f%C3%B6rdelar%20j%C3%A4mf%C3%B6rt%20med%20annat%20byggande>

Svenskt Trä (u.å. b). *Ljud*. Hämtad från: <https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/ljud/>

Svenskt Trä (u.å. c). *Limträ och miljön*. Hämtad från:

<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/om-limtra/limtra-och-miljon/>

Sweden Green Building Council. (u.å.). *Vad är NollCO2?*. Hämtad från:

<https://www.sgbc.se/certifiering/nollco2/vad-ar-nollco2/>

Symetri (u.å.). *One click LCA*. Hämtad från: <https://www.symetri.se/produkter/one-click-lca/>

Unika Stenhus (2022). *För- och nackdelar med stenhus*. Hämtad från:

<https://www.unikastenhus.se/single-post/f%C3%B6rdelar-och-nackdelar-med-stenhus>

Greendesk (2022). *Vad är koldioxidekvivalenter?*. Hämtad från:

<https://www.greendesk.se/artiklar/vad-ar-koldioxidekvivalenter>

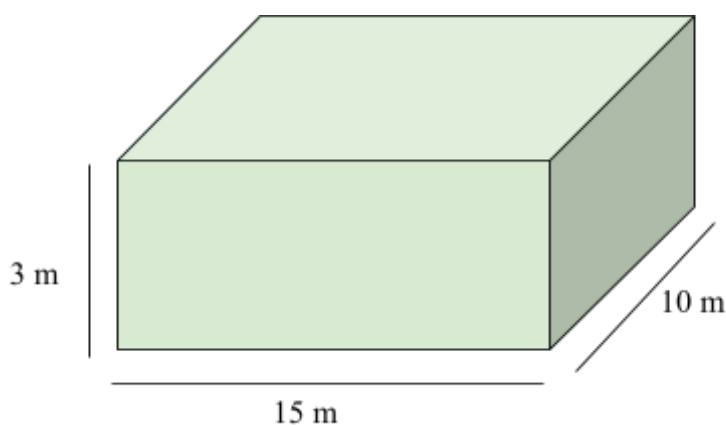
# Bilagor

## BILAGA 1: MÄNGDBERÄKNING AV YTTERVÄGGAR

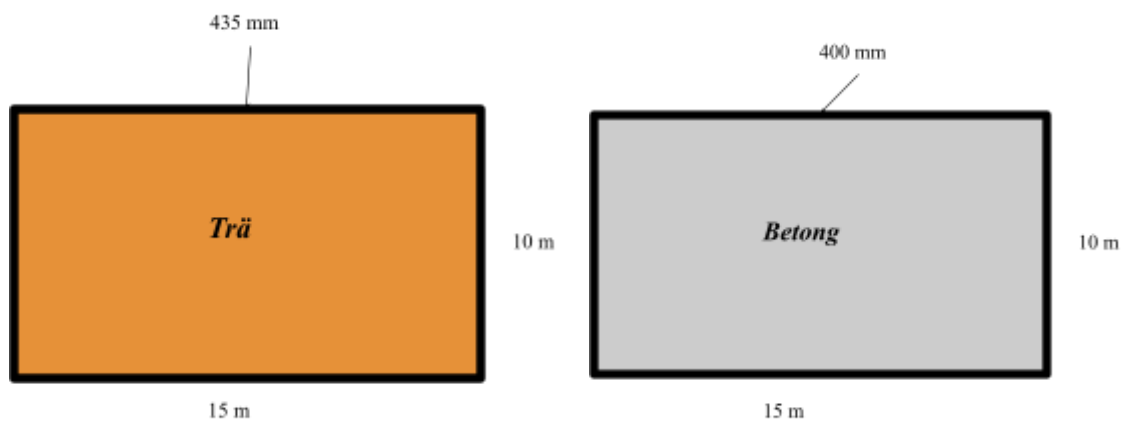
För att kunna mata in information om byggnaden, gjordes en mängdberäkning av respektive konstruktion, nämligen trä- och betongstomme. Denna bilaga innehåller mängdberäkningar samt även redovisning av hur vi har kommit fram till vissa värden när det gäller information om byggarbetsplatsen, inklusive el- och bränsleanvändning.

### KORT OM BYGGNADEN:

Beräkningarna i denna studie gäller för ett enplanshus med bruttoarea  $150 \text{ m}^2$ , byggnaden är 10 meter bred, 15 meter lång och har en fasadhöjd på 3 meter (Fig.1). Andra specifika informationer såsom geografisk placering av byggnaden, rumsfördelning och miljöcertifieringar har inte tagits hänsyn till i denna studie. Väggtjocklekar skiljer sig lite mellan betong- och trästommen, betongväggen är 400 mm tjock medan träväggen är 435 mm tjock, värdena inkluderar fasadmaterialet.



Figur 1: Förenklad illustration av enplanshuset



Figur 2: Förenklad illustration av golvytan och dess mått.

### Byggnadsmaterial:

Nedan i tabell 1 presenteras beräkning av materialmängden för ett enplanshus med träkonstruktion, se figur (3) för att se detaljerna i konstruktionen.



Figur 3: Träkonstruktionen av ytterväggar (Se bilaga 2).

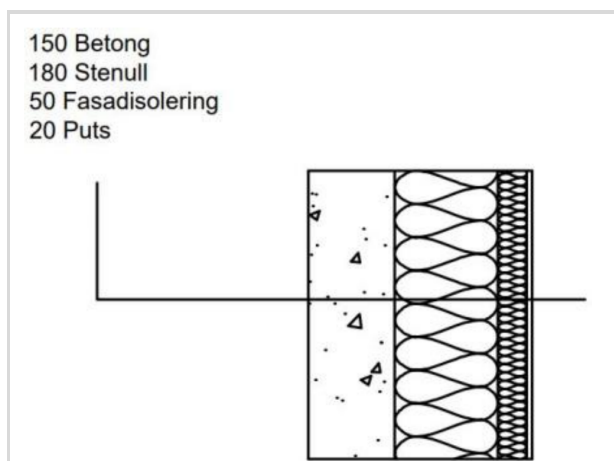
Tabell 1: Mängdberäkning av ytterväggar med trästomme.

Stommens beståndsdelar		Mängdberäkning	Mängd/enhet
<p>Enligt kraven i PBL bör en byggnad ha tillräckligt med dagsljus. Enligt förenklad dimensioneringsmetod från PBL, bör fönsterglasarean vara 10% av golvarean, vilket ger en dagsljusfaktor på cirka 1,0%. I vårt fall räknar vi med att 18% av golvaytan (<math>A_{temp}</math>) är öppningar, inklusive två ytterdörrar (Boverket, 2022 c).</p>			
1.	20 mm Horisontellt Träpanel	Byggnadshöjd: 3,0 m $(10 \times 3) \times 2 + (15 \times 3) \times 2 = 150 \text{ m}^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 \times 0,18 = 123 \text{ m}^2$	123 m <sup>2</sup>
2.	25 mm Glespanel c/c 400 (25x70)	$n = 3\ 000 / (70 + 400) = 6.38$ stycken får plats i väggen med cc 400. $6.38 * ((15 + 10) * 2) = 319 \text{ m}$	300 m OBS. För öppningar räknas bort
3.	100 mm Isover Fasadskiva	$(3 \times 10) + (3 \times 15) = 75 \times 2 = 150 \text{ m}^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 \times 0,18 = 123 \text{ m}^2$	123 m <sup>2</sup>
4.	1 mm vindsydd	-	123 m <sup>2</sup>
5. a)	45x195 mm Träregel vertikal c/c 600	$10\ 000 / (645) = \text{ca } 16$ stycken $16 * 3 * 2 = 96$ $15\ 000 / (645) = \text{ca } 24$ stycken $24 * 3 * 2 = 144$ Höjd = 3 meter Total antal träreglar = 80	220 m per längdenheter
b)	195 mm Isover UNI-skiva 35 (Isolering)	$20 - (0,045 \times 32 \text{ st}) = 18,560 \text{ m}$ $30 - (0,045 \times 48 \text{ st}) = 27,840 \text{ m}$ $46,4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 139,2 \text{ m}^2$ totalt $\Rightarrow 139,2 \text{ m}^2$ $139 - 27 = 112$	112 m <sup>2</sup>
6.	1 mm Plastfolie	-	123 m <sup>2</sup>
7. a)	45x70 mm Träregel, vertikal	$10000 / 645 = 16 \text{ st}$ $16 * 2 * 3 = 96$	220 m per längdenheter

	c/c 600 (installationsskikt )	15000/645=24 st    24*2*3=144  höjd = 3 meter	
b)	70 mm Isover UNI-skiva 35 (Isolering)	$0,045 * 3 = 0,135 m^2 \rightarrow 0,135 * 16 st = 2,16 m^2 trärege$ $10 * 3 = 30 m^2 total area \rightarrow 30 - 2,16 = 27,84 m^2 isolering$ $27,84 * 2 = 55,68 m^2 isolering$  $0,045 * 3 = 0,135 m^2 \rightarrow 0,135 * 24 = 3,24 m^2 trärege$ $15 * 3 = 45 m^2 total area för en väg \rightarrow 45 - 3,24 = 41,76 m^2$ isolering $41,76 * 2 = 83,52 m^2 isolering$  <i>Total isolering:</i> $83,52 + 55,68 = 139,2 m^2$ $139 - 27 = 112$	112 m <sup>2</sup>
8.	10 mm Isover Spånskiva	$(10 * 3) * 2 + (15 * 3) * 2 = 150 m^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 * 0,18 = 123 m^2$	123 m <sup>2</sup>
9.	13 mm Gipsskiva	$((10 * 3) + (15 * 3)) * 2 = 150 m^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 * 0,18 = 123 m^2$	123 m <sup>2</sup>

## Byggnadsmaterial:

Nedan i tabell 2 presenteras beräkning av mängd material för ett enplanshus med betongkonstruktion, se figur (4) för att se detaljerna i konstruktionen.



Figur 4: betongvägg konstruktion, Halvsandwich BTG (Shirvani & Lin, 2020)

Tabell 2: Mängdberäkning av ytterväggar med betongstomme.

Stommens beståndsdelar	Mängdberäkning	Mängd/enhet
Enligt kraven i PBL bör en byggnad ha tillräckligt med dagsljus. Enligt förenklad dimensioneringsmetod från PBL, bör fönsterglasarean vara 10% av golvarean, vilker ger en dagsljusfaktor på cirka 1,0%. I vårt fall räknar vi med att (18%) av golvytan $A_{temp}$ är öppningar, inklusive två ytterdörrar (Boverket, 2022 c).		
1. Betong	Byggnadshöjd: 3,0 m $(10 \times 3) \times 2 + (15 \times 3) \times 2 = 150 \text{ m}^2$ bruttoarean: $150 \text{ m}^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 \times 0,18 = 123 \text{ m}^2$	$123 \text{ m}^2$
2. Stenull	Byggnadshöjd: 3,0 m $(10 \times 3) \times 2 + (15 \times 3) \times 2 = 150 \text{ m}^2$ bruttoarean: $150 \text{ m}^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 \times 0,18 = 123 \text{ m}^2$	$123 \text{ m}^2$

3.	Fasadisolering	Byggnadshöjd: 3,0 m $(10 \times 3) \times 2 + (15 \times 3) \times 2 = 150 \text{ m}^2$ bruttoarean: $150 \text{ m}^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 \times 0,18 = 123 \text{ m}^2$	123 m <sup>2</sup>
4.	Puts	Byggnadshöjd: 3,0 m $(10 \times 3) \times 2 + (15 \times 3) \times 2 = 150 \text{ m}^2$ bruttoarean: $150 \text{ m}^2$ Räkna bort öppningar såsom fönster och dörrar: $150 - 150 \times 0,18 = 123 \text{ m}^2$	123 m <sup>2</sup>

### Byggarbetsplatsen:

#### ❖ Energianvändning på plats

Enligt Boverket (2022 b) ska alla energikrävande processer som krävs för bygga en byggnad ingå i klimatdeklarationen, såsom all användning av el, värme och bränsle på byggarbetsplatsen. Mer specifikt ingår följande i klimatdeklarationen:

- Uppvärmning och elanvändning i bodar, kontor och förråd
- Bränsleförbrukning i fordon, maskiner och verktyg som används på byggarbetsplatsen

Det är viktigt att komma ihåg att energi och bränsle för markarbete ingår inte i deklARATIONEN.

Beräkning av energi och bränsleförbrukning på byggarbetsplatser kan ske på olika sätt. En metod är att kolla på uppmätta värden via fakturor eller följesedlar. En annan metod är att hämta in data från leverantörer och underentreprenörer. En tredje metod är att använda Boverkets klimatdatabas för energi och bränsle.

I denna studie bestämdes att kolla på elförbrukning för en villa under ett år, vilket enligt Eskilstuna Energi och Miljö (2021) motsvarar 20 000 - 25 000 kWh per år. I denna studie antogs att elförbrukningen för en villa som kan färdigställas på sex månader är ungefär hälften av genomsnittlig elförbrukning för ett helt färdigställt hus under ett år. Vilket innebär att den mängd energi som används under byggskedet motsvarar ca 11 500 kWh.



❖ Bränsleförbrukningen på byggarbetsplatsen.

Mycket av bränsleförbrukningen för att bygga ett hus går åt för att gräva grunden för huset men enligt Boverket (2022 b) ska markarbete inte ingå i miljödeklarationen.

Detta innebär att det inte kommer att användas speciellt mycket bränsle under byggskedet. Det är svårt att beräkna exakt hur mycket bränsle som används under byggskedet, men med hjälp av vår examinator (Urban Persson) kom vi fram till att vi ska anta att olika maskiner används totalt i tre veckor och det kan motsvara 10 MJ bränsleförbrukning under den tiden.

## BILAGA 2: K-ritning av huvudsektionen av referenshuset

