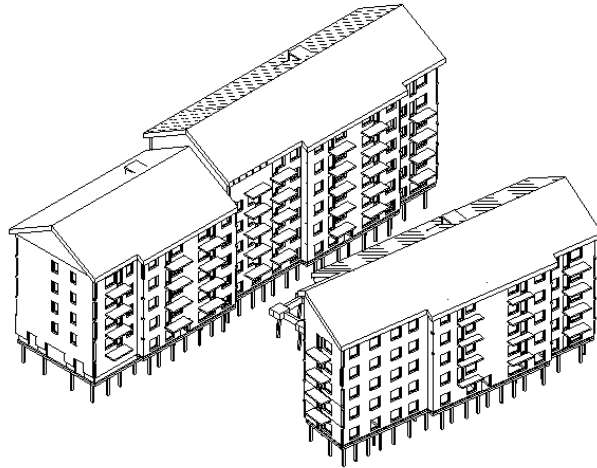




CHALMERS



Betong eller trä

En utmaning av byggnormer för hållbarhet och ekonomisk effektivitet.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

SHKO MIRZA
RASHID MOHSEN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Betong eller Trä

En utmaning av byggnormer för hållbarhet och ekonomisk effektivitet.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Shko Mirza

Rashid Mohsen



Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction Management & Konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2024

Betong eller Trä

En utmaning för hållbarhet och ekonomisk effektivitet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Shko Mirza

Rashid Mohsen

©SHKO MIRZA/RASHID MOHSEN, 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Construction Management & Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Referensprojekt från Skanska som använts i detta arbete, är placerat på Pedagoger Park i Mölndal

Chalmers reproservice

Göteborg 2024

Från Betong Till Trä

En utmaning för hållbarhet och ekonomisk effektivitet

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Shko Mirza

Rashid Mohsen

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction Management & Konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Byggbranschen är en stor miljöbov. År 2021 stod den svenska bygg- och fastighetssektorn för utsläpp av växthusgaser på cirka 11,1 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Detta motsvarade 21,7 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser det året (Boverket, 2024). Examensarbetet syftar till att studera huruvida det går att ställa om den svenska byggbranschens höga utsläpp med hjälp av att använda sig av mindre traditionella byggmaterialen (trä). Genom att jämföra fyra olika byggnadskonstruktioner - en i traditionell betong, en i grön betong, en hybridlösning med betong i bottenvåningen och trä i resten av byggnaden, samt en helt i trä - strävar uppsatsen efter att undersöka hur respektive material påverkar både ekonomi och ekologi. På så vis ställs frågan: Kan trä som material vara en hållbar lösning för byggbranschen?

Uppsatsen har genomförts med en kvantitativ forskningsmetod som undersökte mätbara data. Därefter gjordes jämförelser mellan olika konstruktionsmaterial för att besvara studiens frågeställningar. Vidare inkluderar studien en miljö- och kostnadsanalys för att studera användandet av trä, varför det inte byggs mer med trä och vad det kan bero på. Resultaten indikerar på en betydande skillnad i klimatpåverkan samt kostnadspåverkan mellan betong- och träkonstruktioner. Slutsatsen blir att den mest hållbara lösningen är en byggnad i trä, dessvärre blir denna byggnad alltför kostnadsineffektiv. Vi föreslår istället att en hybridmodell med både trä och betong/grönbetong används för att byggbranschen ska kunna nå agenda 2030 (mål 11, hållbara städer).

Nyckelord: Klimatdeklaration, Livscykelanalys, Koldioxidekvivalenter, byggskede, Korslimmadträ, Betong, Grön betong, Hållbart byggande.

Concrete or Timber

A challenge of building standard for sustainability and economic efficiency

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

Shko Mirza

Rashid Mohsen

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Construction Management & Structural Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The construction industry is a major environmental offender. In 2021, the Swedish construction and real estate sector accounted for greenhouse gas emissions of approximately 11.1 million tons of carbon dioxide equivalents. This corresponded to 21.7 percent of Sweden's total greenhouse gas emissions that year (Boverket, 2024). The thesis aims to study whether it is possible to transition the high emissions of the Swedish construction industry by utilizing less traditional building materials (such as wood). By comparing four different building constructions - one in traditional concrete, one in green concrete, a hybrid solution with concrete on the ground floor and wood for the rest of the building, and one entirely made of wood - the essay seeks to examine how each material affects both economics and ecology. Thus, the question is posed: Can wood as a material be a sustainable solution for the construction industry?

The essay has been conducted using a quantitative research method that examined measurable data. Comparisons between different construction materials were then made to answer the study's research questions. Furthermore, the study includes an environmental and cost analysis to examine the use of wood, why there is not more construction with wood, and what this might depend on. The results indicate a significant difference in climate impact and cost impact between concrete and wood constructions. The conclusion is that the most sustainable solution is a building made of wood; however, this building becomes too cost inefficient. Instead, we suggest that a hybrid model with both wood and concrete/green concrete be used to enable the construction industry to achieve Agenda 2030 (Goal 11, sustainable cities).

Key words: Climate declaration, Life cycle analysis, Carbon dioxide equivalents, Construction phase, Cross-laminated timber, Concrete, Green concrete, Sustainable construction.

Förord

Detta examensarbete på kandidatnivå har utförts av Shko Mirza och Rashid Mohsen. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och är ett avslutande moment på högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik.

Vi vill tacka vår handledare Yutaka Goto och examinator Robert Jockwer som stöttat oss och hjälpt oss med idéer och tillvägagångssätt genom hela uppsatsen. Vi vill även tacka Martin Hagman från Skanska som gav oss ett referensprojekt samt vägledning och ett branshperspektiv på hur man tänker kring våra frågeställningar. Tack till Diego Balla, säljare & projektutvecklare på Södra Skogsägarna, för handledningen kring produktionen för limträ samt en kostnads kalkyl för vår trä- och hybridbyggnad.

Göteborg juni 2024

Shko Mirza
Rashid Mohsen

Beteckningar

Latinska versaler

R_n	Värmemotstånd
Q	Värmeeffekt [W]
U	Väggens sammanvägda U-värde [W/m^2k]
A	Area [m^2]
T	Temperatur [$^{\circ}C$]
V	Materialets volym [m^3]
W	Mängden blandningsvatten [kg], [kg/m^3] eller [l/m^3]
C	Mängden cement [kg] eller [kg/m^3]

Latinska gemena

d	Tjocklek [m]
m	Massan i [kg]

Grekiska bokstäver

ρ	Materialets densitet i [kg/m^3]
λ_n	Värmeledningsförmåga [$\frac{W}{m \cdot K}$]

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	2
1.1	BAKGRUND	2
1.2	SYFTE	3
1.3	FRÅGESTÄLLNINGAR	4
1.4	AVGRÄNSNINGAR	5
2	TEORI	6
2.1	MATERIALEGENSKAPER	6
2.1.1	<i>Trä som byggnadsmaterial</i>	6
2.1.2	<i>Korslimmat trä</i>	6
2.1.3	<i>Betong som byggnadsmaterial</i>	7
2.2	BYGGPRODUKTIONSTID	9
2.3	LIVSCYKELANALYS	10
2.3.1	<i>Livscykelanalysens olika skeden</i>	11
2.4	MILJÖDEKLARATION	12
3	METODOLOGISKT RAMVERK OCH TILLVÄGAGÅNGSÅTT	13
3.1	FORSKNINGSMETOD	13
3.2	BYGGNADENS FALLSTUDIE	14
3.3	VAL AV KOMPONENTER	14
3.3.1	<i>Kriterier vid val av komponenter</i>	14
3.3.2	<i>Ljudklass</i>	15
3.4	MÄNGDAVTAGNING VIA SOLIBRI	15
3.5	BERÄKNING AV KLIMATPÅVERKAN	16
3.5.1	<i>Beräkning av mängder</i>	16
3.5.2	<i>Beräkning av klimatpåverkan</i>	18
3.5.3	<i>Klimatpåverkan per kvadratmeter Bruttoarea (BTA)</i>	20
3.5.4	<i>Metod för kostnadsberäkning</i>	20
4	RESULTAT	22
4.1	BYGGNADSKONSTRUKTIONERNAS KLIMATPÅVERKAN	22
4.1.1	<i>Klimatpåverkan i (kgCO₂/m² BTA)</i>	23
4.1.2	<i>Bruttoarea</i>	24
4.2	KOSTNADSBERÄKNINGAR	24
5	ANALYS OCH DISKUSSION	26
5.1	ANALYS OCH DISKUSSION AV KLIMATPÅVERKAN	26
5.2	ANALYS OCH DISKUSSION AV KOSTNADSBERÄKNINGEN	27
5.2.1	<i>Grönbetong istället för konventionell betong?</i>	27
5.2.2	<i>Optimering av Byggnadsmaterialval</i>	28
5.2.3	<i>Ekonomiska fördelar med korslimmat trä</i>	28
6	SLUTSATS	30
7	FÖRSLAG TILL VIDARE STUDIER	31
8	REFERENSER	32
	BILAGOR	36

1 Inledning

År 2021 stod bygg- och fastighetssektorn för inhemska utsläpp av växthusgaser på cirka 11,1 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Detta motsvarade 21,7 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser det året. Skulle man räkna med utsläpp från importerade produkter skulle denna siffra bli högre då dessa utsläpp låg på cirka 7,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Boverket, 2024).

Uppsatsen kommer att fokusera på hur man kan bygga mer hållbart, genom att studera vilken miljöpåverkan specifika byggnadsmaterial har, tillsammans med att undersöka hur man kan minska klimatpåverkan i byggnadsprocesser genom att ersätta traditionell betong mot trä alternativt grönbetong. Samt studera huruvida lösningen ligger i att kombinera dessa material för att uppnå en optimal lösning ur ett miljöekonomiskt perspektiv.

1.1 Bakgrund

I ett land som Sverige, känt för sin rika skogstillgång, har trä under lång tid varit det självklara valet av byggnadsmaterial. Träbyggnader från 1200-talet har bevarats fram till idag vilket har resulterat i en identitet där träarkitekturen utgör en betydande del av det svenska kulturarvet (SFV, 2005). Som råvara är trä extremt värdefullt för den svenska ekonomin, då det år 2021 stod för 10% av Sveriges varuexport vilket ligger på ca 5,5% av landets totala BNP (Skogsindustrierna, 2022).

Från att Sverige gick med i EU, 1994, har husbyggnader högre än två våningar inte varit tillåtna att uppföra i Sverige (Svenskt Trä, u.å.). Sedan dess har utvecklingen gått väldigt långsamt. Idag har endast 13% av alla nybyggda flervåningshus i Sverige en trästomme (SCB, 2023). Framtagningen av korslimmaträ har underlättat möjligheten att konstruera höga träbyggnader. Detta är ett viktigt steg i branschens arbete mot ett klimatsmart byggande.

I en rapport från 2004, utfärdad av regeringen, där andelen nyproducerade flervåningshus låg under 10%, diskuterar Regeringskansliet olika orsaker till den tröga utvecklingen. Bland dessa nämns bristande kunskap samt osäkerhet kring tekniska, estetiska och förvaltningsmässiga frågeställningar (Regeringskansliet, 2004). Trots att rapporten är 20 år gammal, hävdar Per Karnehed, expert inom fuktkontroll, att samma bristande kunskapsnivå fortfarande är utbredd inom branschen idag. Han påpekar bland annat att fukt inte nödvändigtvis utgör ett problem om man tillåter limträ att torka ordentligt (Svensk trä, 2018). Han menar att okunskapen skapar en överdriven oro där trä beskrivs som ett "dåligt" byggnadsmaterial i jämförelse med alternativen.

För att kunna förstå var kunskapsbristen kring träbygge kommer ifrån är det viktigt att studera alternativen till trä, främst betong. Enligt Statistiska centralbyrån består 85% av alla flerbostadshus som har byggts 2017 och senare av en betongstomme (SCB, 2023) Denna betongdominans kan förklaras genom att betona att betong är ett beständigt material med lång livslängd, vilket möjliggör kostnads- och energieffektivitet med minimala krav på drift och underhåll.

Ett vanligt argument mot trä som byggnadsmaterial är den ekonomiska aspekten, där trä ofta uppfattas som dyrare än betong. Johan Fröbel, chef och trækunskapsansvarig på träguiden, menar att detta inte är sanningsenligt. Detta eftersom trä är ett lätt hanterligt material som genererar kortare byggtider, mindre transporter, lägre monteringskostnader och bättre logistik. Detta gör att man exempelvis inte behöver stänga av vägar i samband med bygge och därmed spara kostnader som uppkommer vid omdirigering av trafik. Fröbel menare vidare att anledningen till låga användningen av trä i nybyggnationer snarare beror på vi-gör-som-vi-brukar-mentaliteten, där företag föredrar de mest bekanta konstruktionsmaterialen före “det kostnadseffektiva träet” (Svenskt trä, 2020).

Problemet med att en stor mängd betong används i moderna byggnader är de emissioner som förekommer vid cementproduktionen. Cement är ett hydrauliskt bindemedel som består av kalksten och lera och som vid kontakt med vatten hårdnar och bildar betong (SGU, 2023). Cement produceras genom förbränning av kalksten och lera i stora roterande ugnar med en temperatur på omkring 1450 °C. Vid denna förbränning frigörs koldioxid som har varit bunden i kalkstenen i miljontals år. Produktionen av ett ton cement släpper ut ungefär 700–800 kg koldioxid, vilket inte inkluderar utsläppen från uppvärmningen av ugnarna. År 2020 producerades 2,8 miljoner ton cement i Sverige. De totala koldioxidutsläppen från cementproduktionen uppgick till 1,9 miljoner ton under år 2020 (Naturskyddsföreningen, 2022). Detta motsvarade ungefär 4% av Sveriges totala utsläpp under samma år.

År 2015 antogs agenda 2030 som består av 17 mål som ska bidra till social, ekonomisk och miljömässig utveckling. Det övergripande målet är att dessa 17 mål ska vara uppnådda till år 2030 i alla världens länder (FN-förbundet, u.å.). Ett av dessa mål, närmare bestämt mål 11 om hållbara städer och samhällen, strävar efter att skapa städer och bosättningar som är inkluderande, säkra, motståndskraftiga och hållbara (Regeringskansliet, u.å.). För att detta mål ska uppnås måste den höga klimatpåverkan som traditionell betong ger upphov till minskas, genom att studera andra hållbara alternativ.

1.2 Syfte

Denna studie syftar till att noggrant jämföra en befintlig betongkonstruktion med en teoretisk träkonstruktion av lång livslängd för samma ändamål. Analysen omfattar LCA och LCC för båda konstruktionerna inom samma tekniska klasser. Målet är att kvantitativt visa att den låga träanvändningen i byggande oftast följer normer snarare än empiriska fakta om dess prestanda, hållbarhet och ekonomi.

1.3 Frågeställningar

För att genomföra studien kommer uppsatsen/ vi att utgå från följande frågeställningar:

- Vilka kostnads- och miljöfördelar kan uppnås genom att jämföra en befintlig betongkonstruktion med en teoretisk träkonstruktion för samma ändamål?
- Hur kan resultatet i frågeställning främja användningen av trä som ett miljövänligare byggmaterial?
- Hur kan man optimera valet av byggnadsmaterial på ett sätt där vi minskar emissioner och kostnader.

Frågeställningarna är utformade för att direkt uppfylla syftet med rapporten. För att noggrant besvara frågan om kostnads- och miljöfördelar kommer arbetet att undersöka samma byggnad, men med olika konstruktionsmaterial. För att jämföra de kostnadsmissiga faktorerna kommer mängdavgiftning att genomföras med hjälp av Solibri. Mängdavgiftning för båda byggnaderna kommer sedan att sammanfattas i Excel. När detta är gjort kommer limträleverantören Södra att presentera ett kostnadsförslag på det korslimmade träet. Detta kostnadsförslag ska inkludera både materialkostnaden för det korslimmade träet och transportkostnaden.

Kostnadsskillnaden kommer att presenteras i flera stapeldiagram, där man jämför transport-, material- och övriga kostnader.

Sedan kommer en livscykelanalys att genomföras för båda byggnader. Detta för att identifiera vilken miljöpåverkan som byggnaderna ger upphov till. Enheten som kommer att tillämpas är kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter bruttoarea (BTA). Detta kommer sedan också att presenteras i olika stapeldiagram.

Efter att kostnads- och miljöanalyserna har genomförts kommer resultaten att användas för att besvara nästa frågeställning. Denna fråga fokuserar på hur resultaten kan bidra till att främja användningen av trä som ett föredraget byggmaterial. Detta kommer att besvaras genom att dels jämföra kostnads- och miljöanalysen som genomförs i denna studie, men även genom att jämföra övriga branschfaktorer.

Avslutningsvis kommer ytterligare diagram att presenteras med data från en hybridlösning där en våning är helt i betong och resterande våningar är i trä. Denna data kommer att belysa hur denna typ av lösning påverkar resultaten som tidigare erhållits enligt den tidigare metoden. Syftet är att svara på frågan om hur valet av byggnadsmaterial kan optimeras.

1.4 Avgränsningar

Mot bakgrund av den tidsram och de resursbegränsningar som råder för den aktuella studien, krävs en avgränsning av undersökningsomfånget för att möjliggöra lämpligt besvarande av de förutsatta frågeställningarna samt för att erhålla så relevanta svar som möjligt.

Följande punkter är de avgränsningar som har tillämpats i studien:

- När det kommer till byggnadsmaterialens klimatpåverkan kommer fokus att ligga på materialens miljöpåverkan från utvinning av materialet till tillverkningen och slutligen till den färdigproducerade byggnaden. Det motsvarar byggskedet, LCA A1-5, och utesluter användningsskedet och slutskedet.
- Takkonstruktionen, hisschaktet och grundkonstruktionen är komponenter som är gemensamma för både betong-, trä- och hybridbyggnaden. Dessa parametrar antas ha samma kostnad och miljöpåverkan för dem tre byggnaderna, därav uteslutningen. Fokus kommer istället att läggas på analys av dem variabler som skiljer sig åt mellan byggnadstyperna.
- Alla tre byggnadstyper kommer att dimensioneras med komponenter som möjliggör att de når samma energiklassificering. Detta val av komponenter gör det möjligt att utesluta förvaltningssteget, då det antas att husen kommer att använda liknande mängder energi under förvaltningsfasen.
- Den fjärde och sista avgränsningen handlar om vilka komponenter studien ska fokusera på. Ett flerbostadshus består av en mängd olika typer av konstruktionsdelar, både bärande och icke-bärande. I denna studie kommer endast de bärande komponenterna att behandlas. Detta beslut grundar sig på antagandet att resultaten som uppnås genom att studera de bärande komponenterna inte väsentligt skulle skilja sig från resultaten om alla väggtyper hade studerats. Detta gör att arbetet avgränsas på ett sätt som passar tidsramen.

2 Teori

2.1 Materialegenskaper

2.1.1 Trä som byggnadsmaterial

Den komplexa strukturen hos trä gör det anisotropt, vilket betyder att det har olika egenskaper i olika riktningar. Då det har olika egenskaper i olika riktningar är det viktigt att hålla koll på belastningsriktningen.

I drag parallellt med fiberriktningen visar spänning/ töjningsförhållandet att det nästan är linjärt till brott. Brottet i sig är ofta mycket sprött. Ifall det däremot belastas med drag vinkelrätt mot fiberriktningen är krafterna som behövs för att dra isär/ dra av fibrerna mycket lägre. Styvheten är även den lägre, brottet är fortfarande sprött.

I tryck beter sig trä som material annorlunda. Belastar man trä med tryck parallellt med fiberriktningen så kommer spänningen uppträda parallellt med fibrernas axiella riktning. Fibrerna som belastas axiellt är mycket stabila och kan stå emot en hög lastnivå. I tryck vinkelrätt fibrerna så kommer de rörformiga vedcellerna att krossas, detta kräver lite kraft, och är en orsak till att både styvhet och hållfastheten är låg för denna form av belastning (Fröbel, 2019).

Trä är ett organiskt brännbart material, men dess egenskaper vid brand varierar beroende på dess dimensioner. Enligt Träbyggnadshandbok 9 från 1992 antänds tunna träskivor exempelvis snabbare än trä i grövre dimensioner. Brandsäkerhet är ett viktigt kriterium vid val av byggnadsmaterial. För att förbättra brandsäkerheten för träbyggnader är det rekommenderat att använda antingen ett aktivt eller ett passivt brandskydd. Vid ett aktivt brandskydd sektioneras gasen, röken och värmen som uppstår under en brand på ett sätt som effektivt stoppar deras spridning. Å andra sidan tillämpas i ett passivt brandskydd tekniska lösningar såsom skyddande ytskikt och korrekt dimensionering av utrymningsvägar för att minska risken för skador vid brand (Svenskt trä, 2014).

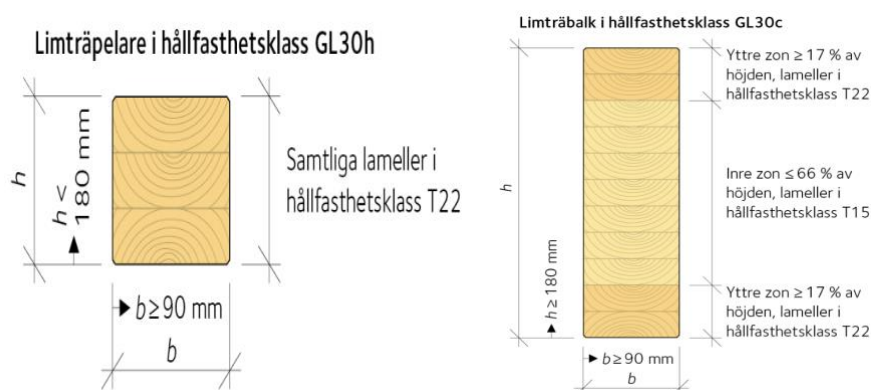
2.1.2 Korslimmat trä

Korslimmat trä, även känt som KL-trä, är en byggkomponent bestående av flera skikt av träbrädor eller plankor som är limmade tillsammans. Dessa skikt är tillverkade av barr- eller lövträ och placeras så att varannan skiva är orienterad i en 90 graders vinkel i förhållande till de underliggande skikten.

KL-trä liknar andra träprodukter när det gäller dess hållfasthetsegenskaper. Dessa egenskaper påverkas av olika faktorer såsom vinkeln mellan spänningen och fiberriktningen, fuktkvoten samt hur länge materialet är belastat. Det finns variationer i materialegenskaperna både inom och mellan olika delar av träkomponenterna. Konstruktionen av KL-trä, där brädorna är korsvis lagda, bidrar till att jämna ut dessa variationer och minimera skillnaderna i egenskaper. Hållfastheten hos KL-träprodukter beror främst på hur tvärsnittet är uppbyggt, där draghållfastheten hos

ytbrädorna och rullskjuvhållfastheten hos tvärskikten är viktiga vid brott. Vid dimensionering av KL-trä och andra träkonstruktioner används ett karakteristiskt hållfasthetsvärde, vanligtvis baserat på den nedre 5-procentsfraktilen från laboratorieprovningar. Styvhetsvärden, såsom elasticitetsmodul och skjuvmodul, bestäms på liknande sätt men med medelvärdet som utgångspunkt.

Limträ kommer som påpekats i olika hållfasthetsklasser och även i olika dimensioner. Skillnaden i hållfasthet beror dels på huruvida homogent eller kombinerat limträ är. Detta innebär att om limträets olika skikt består av lameller vars hållfasthet är den samma, klassas limträet som homogent. Det finns även en annan metod där man kombinerar lameller vars hållfasthet varierar. Denna metod är uppbyggt med lameller av högre hållfasthet längst skivans yttre områden, där stora spänningar förväntas uppträda (TräGuiden, 2021). Exempel på ett homogent samt ett kombinerat limträ visas i figur 1.



Figur 1: Exempel på homogent (vänster) och kombinerat (höger) limträ

I detta arbete kommer limträ från företaget Södra att användas för beräkning av klimatpåverkan och kostnader. Södras korslimmade trä består av tre till sju lager av konstruktionsklassade lameller bestående av gran. Dimensionerna väljs beroende på komponentens funktion, där höjden kan vara upp till 3,5 meter och längden 16 meter. Genom Södras hemsida kunde klimatdata hämtas med produktspecifik GWP för deras limträ, vilket används senare för beräkning av total klimatpåverkan. Kostnaden däremot framtogs genom en kontakt från Södra som fick dokument med den mängd limträ som behövdes och som därifrån kunde presentera en exakt kostnad på konstruktions- och monteringsmaterial samt transport. En approximativ monteringskostnad presenterades även utav kontaktpersonen från Södra.

2.1.3 Betong som byggnadsmaterial

Betong är tillverkad av en sammansättning av ingredienser, inklusive sand och grus som är bundna ihop av en pasta gjord av cement och vatten. Den huvudsakliga delen av betongen består av sand, grus och sten, vilket utgör ungefär 80% av blandningen, medan cement utgör cirka 14% och vatten 6%. För att förbättra specifika egenskaper, såsom motståndskraft mot frost och gjutbarhet, tillsätts en eller flera tillsatsmedel (Almssad, 2015).

Betongens hållfasthet beror i huvudsak av styrkan hos limmet, det vill säga cementpastan. När cementpastan späds ut med vatten minskar dess styrka. Förhållandet mellan vatten och cement kallas vattencementtal (VCT) och är

avgörande för betongens egenskaper. Genom att beräkna VCT kan man bedöma styrkan hos cementpastan och därigenom betongen. Generellt sett, ju lägre VCT, desto högre styrka och täthet har betongen (Burström, 2021).

Detta förhållande kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$V_{ct} = \frac{W}{C}$$

W är mängden blandningsvatten [*kg*], [*kg/m³*] eller [*l/m³*]

C är mängden cement [*kg*] eller [*kg/m³*]

Betongen klassificeras efter dess tryckhållfasthet, oftast mätt i megapascal (MPa). Det finns olika kvaliteter av betong, och de representeras vanligtvis av en kod, såsom C30/37. Det första värdet indikerar tryckhållfastheten för en cylinder med 150 mm i diameter och 300 mm i höjd, medan det andra värdet representerar tryckhållfastheten för en kub med sidor på 150 mm (Almssad, 2015). I denna studie kommer betong med hållfasthetsklass C45/55 och $v_{ct}=0,4$ att studeras, detta eftersom priser och klimatdata var lätt tillgängliga genom

En annan viktig egenskap hos armerad betong är att den har en hög brandresistens tack vare det skyddande lagret av betong över armeringsstålet. Betongens styrka bibehålls till temperaturer över 400 grader Celsius, vilket minskar behovet av omfattande reparationer och renoveringar efter en brand och möjliggör snabb återhämtning av verksamheten. Förutom dess imponerande brandmotstånd har betong en hållbarhet som ger byggnader en livslängd på över 100 år, förutsatt att de är väl utformade och placeras i en miljö som inte är aggressiv.

Klimatförbättrad betong, förkortas till grön betong i arbetet, blir alltmer vanligare inom byggbranschen på grund av dess fördelar jämfört med konventionell betong. Efterfrågan för grön betong har ökat på grund av den låga koldioxidutsläppen i jämförelse med konventionell betong. Det finns olika typer av den klimatförbättrade betongen, som erbjuder många fördelar så som högre styrka och längre hållbarhet (Liew et al., 2017). Vid kostnad- och miljöanalys kommer Skanskas klimatförbättrade betong att tillämpas. Denna består av slagg som bindningsmedel istället för cement och enligt Skanska själva minskas klimatpåverkan med upp till 50% i jämförelse med konventionell betong.

Metoderna för att tillverka grön betong varierar beroende på vilka material som används och vad betongen ska användas till. Muller et al. (2014) hävdar att det finns fyra viktiga steg för att göra hållbar och lättarbetad grön betong:

- Testa de olika materialens egenskaper för att se vilka som passar bäst.
- Bestäm hur mycket vatten som behövs baserat på önskad styrka och mängden cement.
- Se till att partiklarna i betong är rätt storlek.
- Blanda och kontrollera betongen för att se om den har rätt täthet och styrka.

För att ytterligare förbättra grön betong finns det olika optimeringsmetoder. Dessa optimeringsmetoder inkluderar tät packning av partiklar för ökad styrka, statistisk analys för att förbättra sammansättningen och användning av olika mjukvaror för teknisk, ekonomisk och miljömässig förbättring. Fördelarna inkluderar förstärkt hållbarhet och minskad risken för sprickor och luftbubblor (Liew et al., 2017).

Grön betong är fortfarande något som forskas och förbättras. Det erbjuder ett hållbart alternativ för framtida byggbehov och kan sänka kostnader, särskilt i utvecklingsländer. Genom att använda avfallsmaterial i betongen minskas negativa miljöeffekter. Användning av SCM:s (*supplementary cementitious materials*) i rätt mängder förbättrar betongens egenskaper och minskar koldioxidutsläpp. Genom ökad forskning och etablerade standarder för grön betong kommer förtroendet för materialet att stärkas, vilket i sin tur kommer att främja dess användning i olika byggprojekt (Sivakrishna et al., 2019).

2.2 Byggproduktionstid

Byggproduktionstid är en avgörande faktor inom byggbranschen. Varje konstruktionsteknik har en specifik tid och efterfrågan som beror på dess produktionssystem (Araujo et al., 2022). Det finns flera uppenbara skäl till att det är fördelaktigt att färdigställa byggnadsprojektet så snabbt som möjligt. En snabbare byggproduktionstid kan minska de totala kostnaderna för projektet. Ju längre tid det tar att slutföra ett byggprojekt, desto mer tid och resurser krävs det, vilket kan öka kostnaderna genom till exempel högre arbetskrafts- och materialkostnader samt förlorade intäkter från utebliven användning eller förseningar i att sälja eller hyra ut fastigheten.

I Sverige, som har ett skiftande klimat, diskuteras heltäckande väderskydd ofta som en lösning för att bygga mer kvalitetssäkert för träkonstruktioner. Detta beror på att byggnation med trä är ofta förknippat med materialspecifika kvalitetsrisker, så som risken att drabbas av mikrobiell påväxt. Idén med väderskyddet är att det skyddar byggnaden från nederbörd och bibehåller en torr miljö som skyddar byggnaden för de risker som den kan utsättas för (Skanska rapporten). Såklart så bidrar det till en ökad kostnad att använda väderskyddet, men i en ny rapport från Danmark, SBI anvisning 278, diskuteras användningen av väderskydd. Rapporten introducerar ett verktyg för att bedöma kostnader och fördelar med att använda väderskydd. Det framhålls att det finns betydande fördelar, både tekniska och ekonomiska, med att använda sådana väderskydd (Brandt et al., 2022).

Kostnaden för ett heltäckande skydd bör alltså ställas i jämförelse med kostnaden för de åtgärder som måste vidtas när man bygger utan ett heltäckande väderskydd.

Det är även bevisat från tidigare studier att byggproduktionstiden kan minska när man bygger med KLT. Enligt Andersen et al. (2022) har Veidekke haft erfarenhet av att korta ner byggtiden med två månader genom att bygga med KLT jämfört med gjuten betong och stål.

2.3 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA, eng. *Life cycle assesment*) är ett verktyg som tar hänsyn till en produkts hela livscykel, alternativt delar av den (Gröndahl & Svanström, 2011). Processen erbjuder en "vaggatillgrav" syn på produkt eller process, med hänsyn till miljöaspekter och potentiella påverkningar. Det innebär att LCA undersöker hela livscykeln, från att det är en råvara tills att det slutligen skall deponeras (Williams, 2009).

En livscykelanalys kan betraktas ur två olika perspektiv. För det första kan en sådan analys ses som ett *verktyg* för att göra bedömningar av produkters eller tjänsters miljöpåverkan genom hela dess livscykel. Å andra sidan kan LCA ses som ett övergripande *koncept* som kan tillämpas i diskussioner och utvärderingar av olika aspekter av hållbarhet och miljöpåverkan (Jönson, 1996, s. 23–24).

Jönson (1996) hävdar att vare sig livscykelanalysen används som ett verktyg eller ett koncept så kommer den att:

- Ge en komplett bild av aktiviteten och dess miljöpåverkan, både internt och externt.
- Hjälpa att förstå den övergripande och oberoende karaktären hos mänskliga aktiviteter.
- Ge beslutsfattare information angående miljömässiga förbättringar (ibid, s. 6).

För ett byggnadsverk används LCA som en metod för att beräkna miljöpåverkan, men även för att ta reda på vilket skede av en byggnads livscykel som bidrar till störst miljöpåverkan. Används LCA tidigt i ett projekt, dvs redan i projekteringsfasen, har man möjligheten att förbättra och identifiera var man kan göra miljömässiga förbättringar enklare och mer effektiva. Till exempel kan man observera att den första fasadlösningen man valt har en för hög miljöpåverkan, vilket leder till behov av förändringar. Det resulterar i att man genomför projektet och slutför byggnaden med en lägre miljöpåverkan (Boverket, 2019 a).

2.3.1 Livscykelanalysens olika skeden

I takt med att byggbranschen har behövt tänka mer hållbart och klimatsmart har LCA blivit allt vanligare som metod för att analysera och bedöma den miljöpåverkan som en byggnad medför under dess livscykel. Den europeiska kommittén för standardisering (CEN) har släppt standarder för att tillhandahålla en ram för LCA för både nya och befintliga byggnader samt för miljömärkta byggmaterial. Dessa standarder baseras på internationella ISO-standarder. De organiserar livscykelinformationen för byggnader/produkter i moduler för olika faser, inklusive produktionsprocess, användning och slutet av livscykeln (Piccardo & Gustavsson 2021).

Nedan beskrivs dessa moduler/skeden ytterligare i enlighet med boverket (Boverket, 2019 a).

Byggskedet:

- A1-A3 Produktskede
- A4-A5 Byggproduktionsskedet

Användningskedet:

- B1-B7: omfattar användning, underhåll, reparationer och drift av byggnaden

Slutskede:

- C1-C4: Handlar om de steg som behövs för att demontera och transportera bort byggnadsdelarna för återanvändning, återvinning eller deponering när byggnaden inte längre är funktionell.

Övrig miljöinfo:

- D: Handlar om de processer som krävs för återanvändnings-återvinnings- och materialåtervinningspotential.

← Byggskedet →

Livscykelinformation byggnad														Övrig information		
A 1-3 Material- produktion			A 4-5 Byggsfas		B 1-7 Drift							C 1-4 Slutskede		D Övrig miljöinfo		
A1 - Råmaterial	A2 - Transport	A3 - Tillverkning	A4 - Transport	A5 - Uppförande av byggnaden	B1 - Användning	B2 - Underhåll	B3 - Reparation	B4 - Utbyte	B5 - Renovering	B6 - Energianvändning	B7 - Vattenanvändning	C1 - Rivning	C2 - Transport	C3 - Avfallshandling	C4 - Sluthandling	Återanvändnings-, Återvinnings- & Materialåtervinningspotential

Figur 2: Livscykelanalysens alla skeden (Malmqvist et al. 2021, s. 35). Återges med medgivande av upphovsrättsinnehavaren.

2.4 Miljödeklaration

En miljövarudeklaration (environmental product declaration) består av tre delar, produktdatablad, metodval och resultat från bedömningen av miljöpåverkan. I en EPD redovisas resultatet från en livscykelanalys i komprimerat form (Boverket, 2019 b).

För byggprodukter används en EPD för att beskriva produktens miljöpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv. I vissa fall kan den avgränsas till att enbart omfatta vissa delar av LCA:n för en produkt (Trafikverket, 2021). När en tillverkare ska skapa en EPD så följer denne ett antal specifika regler som är anpassade för produkten som ska analyseras. Dessa regler, som kallas PCR (Product Category Rules), innehåller detaljerade riktlinjer för hur livscykelanalysen av produkten ska genomföras. PCR:erna specificerar olika aspekter såsom avgränsning av analysen, val av metod, datainsamling och annat relevant för den specifika produktgruppen, till exempel dörrar, byggskivor eller isoleringsmaterial. Vanligtvis utarbetas dessa regler i samarbete med branschorganisationer för att säkerställa en enhetlig och relevant standard för miljöbedömning av produkter (Boverket, 2019 b).



Figur 3: visar förhållandet mellan PCR, LCA och EPD (Boverket, 2019 b). Återges med medgivande av upphovsrättsinnehavaren.

3 Metodologiskt ramverk och tillvägagångsätt

För att säkerställa att arbetet har ett verkligt värde är det avgörande att undvika en ytlig analys. Därför kommer studien att noggrant utforska ekonomiska och ekologiska jämförelser mellan olika typer av betong och limträ. Genom att jämföra grönbetong med konventionell betong kommer vi att kunna tydligt visa på skillnader i att värden varierar mellan betongtyp också. Därefter kommer dessa skillnader kostnad och miljöpåverkan att analyseras i hur dem förhåller sig till värdena för limträ.

3.1 Forskningsmetod

Kvalitativa metoder och kvantitativa metoder är två tillvägagångssätt inom forskning och datainsamling som används för att samla in och analysera information.

Kvalitativa metoder utgår från ett verkligt föremål som skall utforskas och förstås genom att skapa begrepp kring det. Till skillnad från den kvantitativa metoden där fokus ligger på att mäta "hur mycket" av något, handlar den kvalitativa metoden om att besvara frågan "vad är det" (Eneroth, 1984).

Kvantitativa metoder är mer formaliserade och strukturerade och är mer präglad av kontroll från forskarens sida. Metoden förklarar de förhållanden som är av större intresse utifrån den valda frågeställningen. Den avgör också vilka svar som är tänkbara. Selektiviteten och avståndet i planering och upplägg är viktiga för att kunna utföra strukturerade analyser, göra jämförelser och bedöma om våra resultat är relevanta för de specifika enheter vi studerar. Det är en nödvändig process för att säkerställa noggrannhet och tillförlitlighet i våra slutsatser (Holme & Solvang, 2001).

I vår studie har vi tagit till oss ett kvantitativt tillvägagångssätt. Det innebar att vi samlade in mätbara data som var av intresse för vårt ämne och använde dessa för att upptäcka korrelationer. Därefter kunde vi göra jämförelser mellan olika konstruktionsmaterial. Med denna metod som grund för studien har vi kunnat skapa en så välgrundad och objektiv studie som möjligt.

Uppsatsen har som mål att analysera möjligheten att konstruera ett flerbostadshus som är i överensstämmelse med de befintliga byggnadskonstruktions- och byggnadsfysiska kraven. Vidare kommer studien att utforska möjligheten att åstadkomma samma typ av byggnad, men med användning av mer hållbara materialalternativ. Utöver vårt experiment kommer större delen av undersökningen grundas på vår litteraturstudie, nämligen teoridelen. Denna del bygger på tidigare forskning om byggnadsmaterial, böcker/tidigare kurslitteratur, vetenskapliga artiklar och myndighetsrapporter. Att informationen ska vara tillförlitlig är ut av högsta värde för studien. Därför har material samlats från trovärdiga databaser som exempelvis ScienceDirect och Scopus som erbjuder peer reviewed artiklar, artiklar som är granskade och godkända av andra forskare, men även Chalmers Tekniska Högskolas bibliotek.

3.2 Byggnadens fallstudie

För att kunna genomföra projektet krävdes underlag för den befintliga betongkonstruktionen. Detta underlag skulle behöva inkluderade ritningar i form av en normalplan, som endast visade de bärande komponenterna. Genom handledare förmedlades en handledare till huskonstruktion avdelningen på SKANSKA. Handledaren på Skanska heter Martin Hagman och arbetar som projektchef på Skanska Sverige AB. Hagman presenterade ett referensprojekt i form av ett flerbostadshus placerat i Pedagoggen Park, i Mölndal. När referensprojektet blev tillgängligt påbörjades en metodisk studie med det tillvägagångssätt som beskrivs nedan.

3.3 Val av komponenter

3.3.1 Kriterier vid val av komponenter

De kriterier som skulle tillämpas vid val av vägg- och bjälklagstyper inkluderar, som tidigare påpekats, ljudklass och termisk prestanda. Den tekniska prestandan för de olika väggkomponenterna beräknades förhand genom framtagning av U-värde. Detta ska genomföras med hjälp av U-värdesmetoden för homogena konstruktioner. U-värdet tas fram med hjälp av följande formel:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \text{ där } R_{tot} = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si}$$

R_n beskriver ett skikts värmemotstånd och beräknas som:

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} \text{ där } d = \text{tjocklek [m]} \text{ och } \lambda_n = \text{värmeledningsförmåga} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

Källa: (Petersson, 2018)

Syftet med att studera den termiska prestandan är för att möjliggöra avgränsningen som gjordes tidigare, angående uteslutning av klimatpåverkan under förvaltningsskedet. Genom att se till att ytterväggar som används i jämförelsen har samma termiska prestanda kan man förutsätta att husen förbrukar samma mängd energi under driftstadiet. Anledningen till att endast U-värdet används för beräkning av den termiska prestandan är då det direkt påverkar byggnadens effektbehov. Detta enligt följande formel:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_{inne} - T_{ute})$$

Där Q är värmeeffekten [W], U är väggens sammanvägda U-värde [$W/m^2 \cdot K$] och T [$^{\circ}C$] beskriver temperaturdifferensen mellan inomhus- respektive utomhustemperaturen. A [m^2] är arean som är konstant för båda konstruktioner. (Petersson, 2018) Nedan följer en tabell med jämförelse av U-värde för betong- och träkonstruktionen. Dessa värden beräknades med hjälp av Excel, se Bilaga 1a-d för detaljer. Notera att U-värdet inte beräknades för bärande innerväggar. Detta eftersom temperatur differensen mellan olika rum i en byggnad är densamma vilket innebär att värmeöverföring mellan dessa ytor inte påverkar inneklimatet särskilt mycket, vilket därav inte påverkar den termiska prestandan.

Tabell 1: Jämförelse på U-värden av yttervägg och mellanbjälklag för trä- respektive betongstommen

Komponent	Hus: Betong	Hus: trä
	U-värde [W/m ² *K]	U-värde [W/m ² *K]
YVB	0,122	0,104
Mellanbjälklag	0,155	0,135

3.3.2 Ljudklass

Boverkets byggregler är utformade för att specificera den lägsta nivån av buller som är tillåten på ett sätt som skyddar både boende och användare. Dessa krav är fastställda i Plan- och Bygglagen och gäller för olika utrymmen inom lägenheterna som används för olika ändamål (Boverket, 2023 a). I detta arbete har komponenter med liknande ljudklasser valts för att säkerställa att de jämförda byggnaderna har samma ljudklassning. Detta tillvägagångssätt syftar till att uppfylla studiens mål att undersöka byggnader avsedda för samma ändamål.

Ljudklasserna för träkonstruktioner valdes med hjälp av ett program som heter dataholz.eu, som är en digital handbok för korslimmat trä (Dataholz.eu, u.å.). Betongkonstruktionens ljudklasser valdes å andra sidan med hjälp av färdiga bräkningar som hittades i diverse forskningsarbeten. För yttervägg i betong, se bilaga 3, används beräkningar från ett examensarbete inom byggt teknik på Linnéuniversitetet där direktnivån för betongväggen är 58.8 dB vilket matchar träytterväggen enligt Dataholz.eu (Corluka & Lönnquist, 2014). Detta innebär att väggarna kommer att få samma ljudklass enligt Svensk Standards klassningstabeller. För jämförelse av samtliga komponenter se Bilaga 1.

Den akustiska prestandan påverkas av både isoleringen och komponenterna i väggar och bjälklag, samt av vilken typ av infästning som används. Eftersom bjälklagen för träkonstruktionen som valdes har ett toppskikt av betong, är det viktigt att separera betongen från limträväggen för att minska spridning av vibrationer. En annan viktig akustisk lösning visas i bilaga 4, där träskiktet i ytterväggarna inte är kontinuerligt. Detta möjliggör användning av elastomer, som i sin tur dämpar vibrationer och därmed ökar den akustiska prestandan.

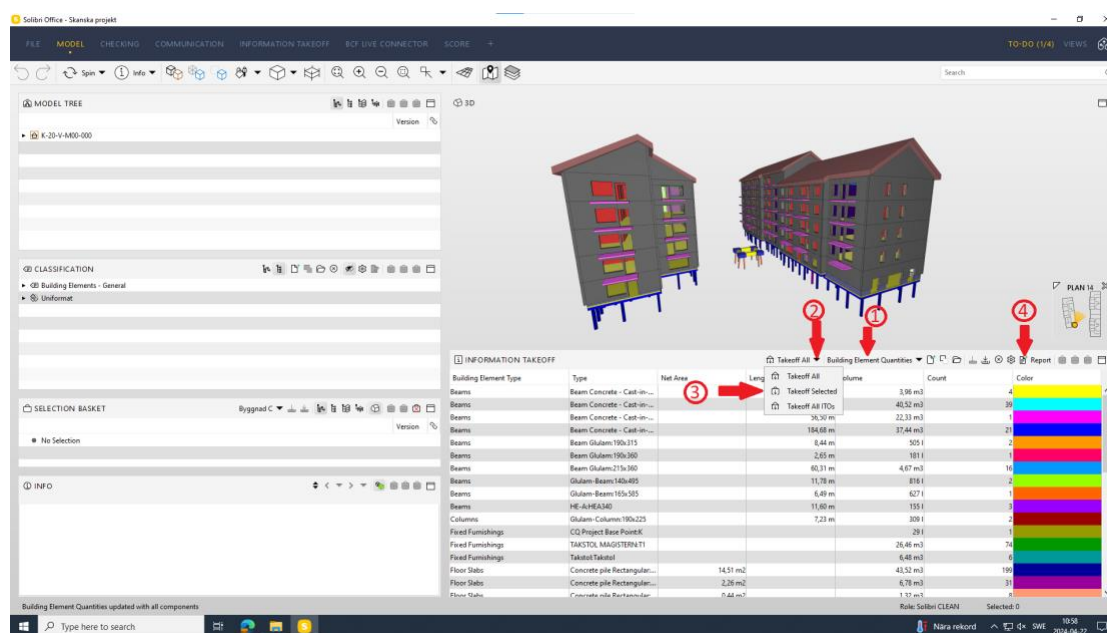
3.4 Mängdavgtagning via Solibri

För att kunna göra noggranna bedömningar av både ekonomiska och miljömässiga aspekter behövde vi ta fram exakta kvantiteter av de olika byggnadskomponenterna som var av intresse. Detta utfördes genom att använda Solibri med IFC-filer som underlag.

För att genomföra denna process börjar man genom att välja "Building Element Quantities" (1) från menyn som visas. Efter att ha valt "Building Element Quantities", klickar man på den svarta triangeln bredvid "Takeoff All" (2) och väljer alternativet "Takeoff Selected" (3). Detta initierar en gul dialogruta som dyker upp på skärmen, där man väljer att fortsätta genom att välja "Takeoff Anyway".

När detta steg är avklarat, fylls listan på med mängder för alla byggnadselement i projektet. Denna lista kan vi sedan exportera till Excel (4) där vi sedan sorterade de värden som vi tagit fram utifrån byggnadselement. Denna process upprepades för byggnaden som är i byggt i trä samt hybridbyggnaden.

Anledningen till att vi valde att göra vår mängdtagning med Solibri var dels på grund av erfarenheter från tidigare kurser, men även på grund av att Solibri automatiserar processen för mängdtagningar. Detta sparar i sin tur oss tid i jämförelse med manuella metoder som exempelvis att göra mängdtagningar för hand eller i mer typiska PDF program.



Figur 4 visar en färdig mängdlista där de röda pilarna visar steg för steg hur man tar fram mängderna och slutligen exporterar till Excel.

3.5 Beräkning av klimatpåverkan

En betydande del av denna forskning fokuserar på att utmana branschnormer och främja användningen av mer miljövänliga alternativ. De följande avsnitten kommer att ge en detaljerad beskrivning av hur klimatpåverkan har beräknats.

3.5.1 Beräkning av mängder

Mängdtagningen som togs fram med hjälp av Solibri, enligt 3.2, innehåller relevanta värden på byggnadskomponenter som kunde appliceras på klimatberäkningarna. Mängdtagningen inkluderar komponenternas totala volymer, angivna i kubikmeter [m³]. För att beräkna klimatpåverkan ska volymerna räknas om till enheten kilogram. Detta görs med hjälp av följande formel:

$$m = \rho * V$$

Där m står för massan i kg , ρ står för materialets densitet i [kg/m^3] och V är materialets volym i [m^3]. Eftersom väggarna som används i studien består av flera skikt, är det viktigt att beräkna massan för varje enskilt skikt. Därefter kan dessa massor summeras för att få en total massa för dem olika väggtyperna. Samma metod används för att beräkna bjälklagen. Nedanstående tabell presenterar de olika

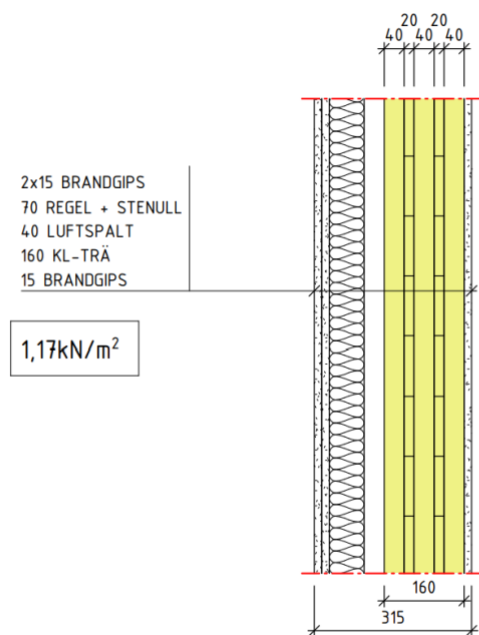
materialen som används i konstruktionen av samtliga tre byggnader, samt den tillhörande densiteten för varje material.

Tabell 2: Majoriteten av alla material som räknats på med dess densitet

Material	Densitet i kg/m^3	Källa
KL-trä	350–460	Borgström & Fröbel (2017)
Stenull	50	Burström (2021)
Betong	2200	Burström (2021)
Uretancellplast	30	Almssad (2015)
Spånskivor	550–750	TräGuiden (2021)
Gips	900	Sandin (2010)
Mineralull	50	Sandin (2010)
Trä	500–700	Almssad (2015)
Träfiberskivor, Hård	900	TräGuiden (2017)

Arean, i kvadratmeter (m^2), avlästes från Solibri för samtliga byggnadskomponenter. Därefter multiplicerades arean med materialets tjocklek, given i meter (m), för att få fram volymen i m^3 .

För att ge en tydligare bild av den tillämpade metoden som har använts, kommer ett exempel på en byggnadsdel att presenteras. I detta fall handlar det om en bärande innervägg (IVB02) som har använts i projektet. I Figur 4 illustreras hur denna innervägg, IVB02, är konstruerad. Väggen är sammansatt av brandgips, stenull, KL-trä, luftspalt och regler. Volymen beräknades genom att ta väggens area multiplicerad med materialets tjocklek. Metoden upprepades för samtliga material i innerväggen samt för alla andra väggar i byggnaden.



IVB02

LÄGENHETSKILJANDE VÄGG

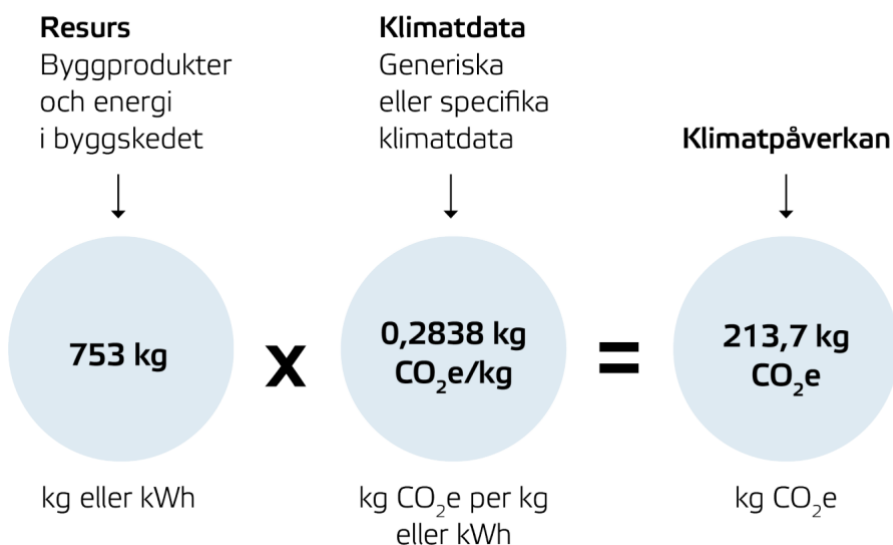
Figur 5: Uppbyggnad av bärande innervägg IVB02

Observera även att krav på spannvidd har beaktats, där Skanska har presenterat en normalplan för varje byggnadstyp. Dessa illustreras i bilagorna 4 och 5. Notera att det krävs fler innerväggar i träbyggnaden för att säkerställa att spannvidden för betongbyggnaden uppfylls. Detta leder till en ökad mängd trä, vilket i sin tur höjer både kostnaden och miljöpåverkan för träkonstruktionen.

3.5.2 Beräkning av klimatpåverkan

När klimatpåverkan beräknas ska mängden resurser i kilogram [kg] multipliceras med generiska eller specifika klimatdata i enheten koldioxidekvivalent per kilogram [kgCO₂e/kg]. Produkten av dessa faktorer ger den totala klimatpåverkan i kilogram koldioxidekvivalenter [kgCO₂e] (Boverket, 2023 b). Se figur 6 för ett exempel på hur klimatpåverkan beräknas.

Så här beräknas klimatpåverkan

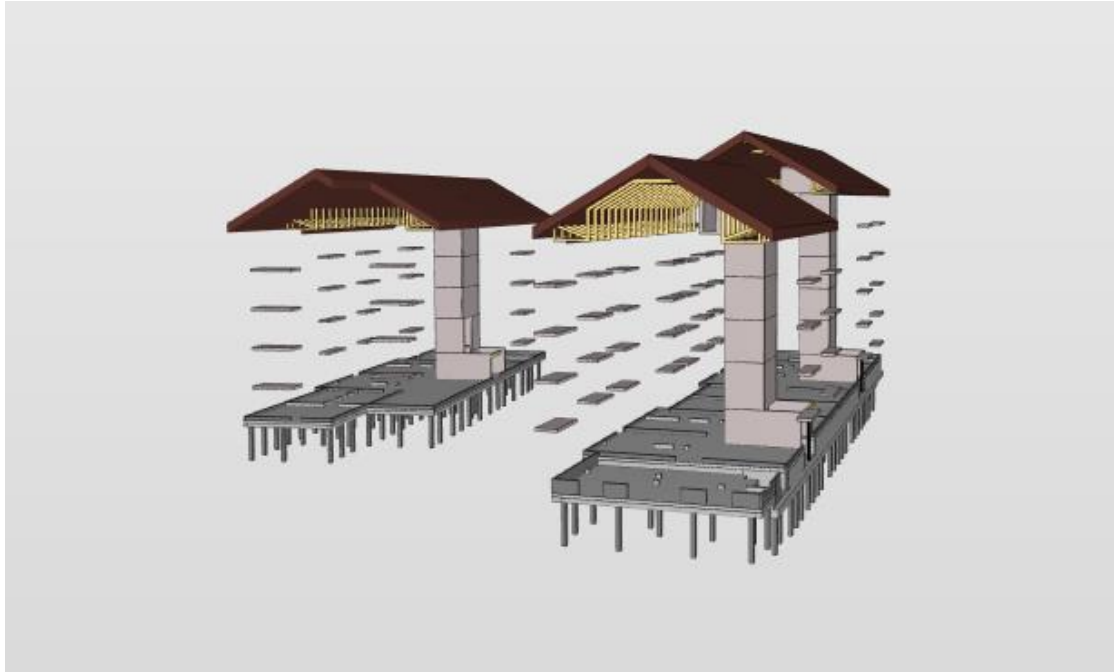


Figur 6: Visar ett exempel på hur klimatpåverkan beräknas (Boverket, 2023 b). Återges med medgivande av upphovsrättsinnehavaren.

Generiska klimatdata är ett generellt värde för den genomsnittliga klimatdatan en resurs, i vårt fall materialet och inte energin, som är representativ för svenska förhållanden (Boverket, 2023 c). Eftersom denna rapport behandlar limträ från Södra Skogsägarna och betongelement från Skanska kommer dem produktspecifika värdena att hämtas från dessa företag. Detta eftersom företagen själva presenterar klimatdata i rapporter på sina hemsidor. Utöver produktspecifika data från Skanska och Södra Skogsägarna så användes produktspecifika data från TS3, då vi använde deras mellanbjälklag i träbyggnaden och hybridbyggnaden. Den produktspecifika datan från TS3 var för hela bjälklaget, inklusive alla ingående byggnadskomponenter, och var angiven i $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$.

Ur Södra skogsägarna och Skansas rapporter har produktspecifika klimatdata (moduler A1 – A5) inhämtats som GWP i $[\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}]$. Vilket anger den faktiska klimatpåverkan i $[\text{kgO}_2\text{e}]$. Materialdata som är oregistrerade i dessa rapporter inhämtades som generiska klimatdata från Boverkets klimatdatabas.

Det är viktigt att poängtera att den beräknade klimatpåverkan för byggnaderna är avgränsad. Detta beror på att betongbyggnaden, träbyggnaden och hybridbyggnaden delar samma grundplatta, takkonstruktion, balkongplattor och grundpålar (figur 5). Dessa byggnadselement kommer inte att inkluderas i jämförelsen av klimatpåverkan mellan de tre byggnaderna eftersom de är identiska och därmed utesluts från jämförelsen.



Figur 7: Visar de gemensamma byggnadselement som finns

3.5.3 Klimatpåverkan per kvadratmeter Bruttoarea (BTA)

För att på ett rättvist sätt jämföra klimatpåverkan mellan dem tre byggnadsvarianterna är det viktigt att sätta klimatpåverkan i ett perspektiv. Boverket har fastställt enheten kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter bruttoarea [$\text{CO}_2\text{e}/\text{BTA}$]. Bruttoarea är summan av alla våningsplans yta och begränsas av dem omslutande byggnadsdelarnas utsida (Boverket, 2023 d). Detta är viktigt eftersom tjockleken på väggar för limträ är större än betong vilket påverkar den totala bruttoarean. För att beräkna klimatpåverkan för en m^2 bruttoarea användes följande ekvation:

$$\text{Klimatpåverkan per } \text{m}^2 \text{ BTA} = \frac{\text{Beräknad klimatpåverkan}}{\text{Bruttoarea, BTA}}$$

Där den beräknade klimatpåverkan anges i [kgCO_2e] och bruttoarea i m^2 som inkluderar alla våningars samt ytterväggars totala area.

3.5.4 Metod för kostnadsberäkning

För att uppskatta kostnaderna för olika konstruktionstyper används priser som hämtats direkt från Skanska och Södra. Skanska är en etablerad aktör inom byggindustrin som dessutom tillverkar sin egen klimatförbättrade betong, så kallad grönbetong. Skanska tillhandahöll relevant prisinformation i form av totalkostnad per kvadratmeter på deras grönbetong, en kostnad som inkluderade material-, montering- och transportkostnad för stomsystemet i betong. Priset på den gröna betongen som presenterades av Skanska för detta arbete motsvarar ungefärligt det faktiska priset för referensprojektet. Eftersom priset endast inkluderar betong-, armering- och övrigt monteringsmaterial togs priser för isolering genom prisdatabasen på byggstart.se.

Prisdatabasen presenterade ett ungefärligt pris för isolering för betong- samt träkonstruktioner. När mängdavgiften var slutförd enligt punkt 3.4 genomfördes sedan kostnadsberäkning för betong genom att multiplicera totalpriset med vägg- respektive bjälklagsarea. Detta presenteras i resultatet nedan.

När kostnadsberäkningen för betongkonstruktionen genomfördes skulle även kostnader för trä och hybridkonstruktionen tas fram. Denna del av analysen utfördes av Södra, Sveriges ledande skogsägarförening. På samma sätt som Skanska producerar Södra sina egna byggmaterial. Emellertid specialiserar sig Södra på tillverkning av korslimmat trä istället för grönbetong. Metodiken för framtagning av träkonstruktionen gick ut på att mängden korslimmat trä per komponent identifierades med hjälp av metoden nämnt i punkt 3.4.

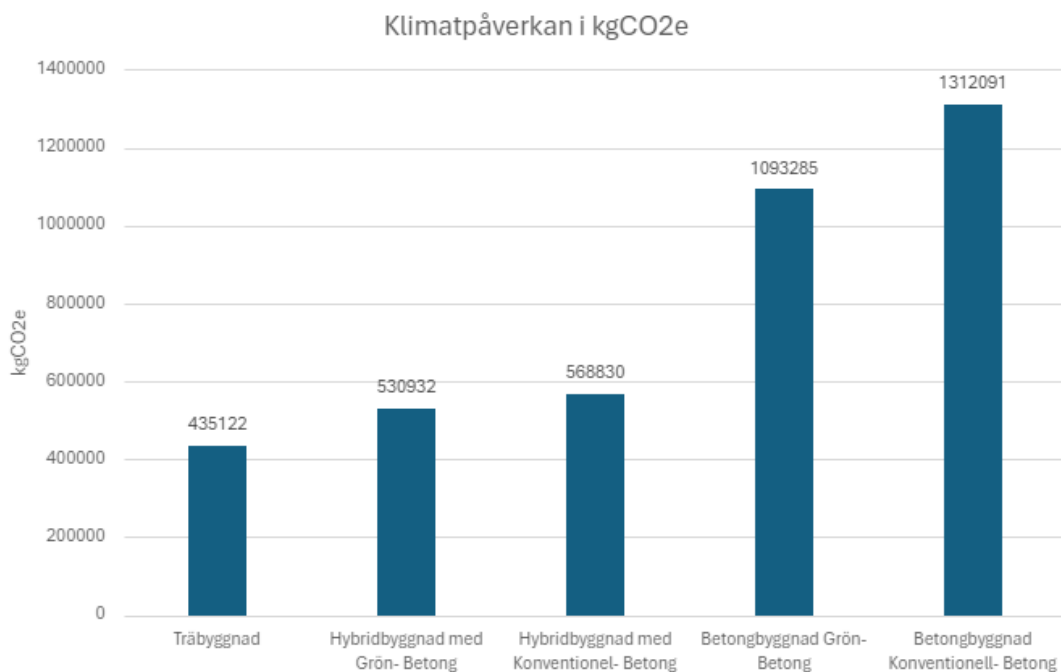
Mängden korslimmat trä tillsammans med de olika konstruktionsdetaljerna för de olika komponenterna skickades till Diego Balla, säljare och projektutvecklare på Södra, som presenterade en budget för den totala kostnaden för träkonstruktionen, vilken inkluderade material-, monterings- och transportkostnader. Denna budget framställdes med hjälp av Södras kalkylprogram, på ett relativt liknande sätt som ett verkligt projekt. Samma procedur användes för att framställa hybridkonstruktionen. Kostnaden för betongdelen av hybridkonstruktionen beräknades på samma sätt som för betongkonstruktionen, där kostnaden för betongdelen summerades med trädelens kostnad för att erhålla den totala kostnaden för hybridbyggnaden. Resultatet för kostnadsberäkningen presenteras i resultatet nedan.

4 Resultat

I detta kapitel redovisas resultatet av klimatberäkningarna och kostnadsberäkningarna med text och diverse stapeldiagram. Resultatet delas in i två olika delar. Både klimat- och ekonomieberäkningarna baseras på inventering av materialens mängd/areor/volymer, men klimatberäkningarna är även baserade på andel klimatpåverkan baserad på generiska och specifika data.

4.1 Byggnadskonstruktionernas klimatpåverkan

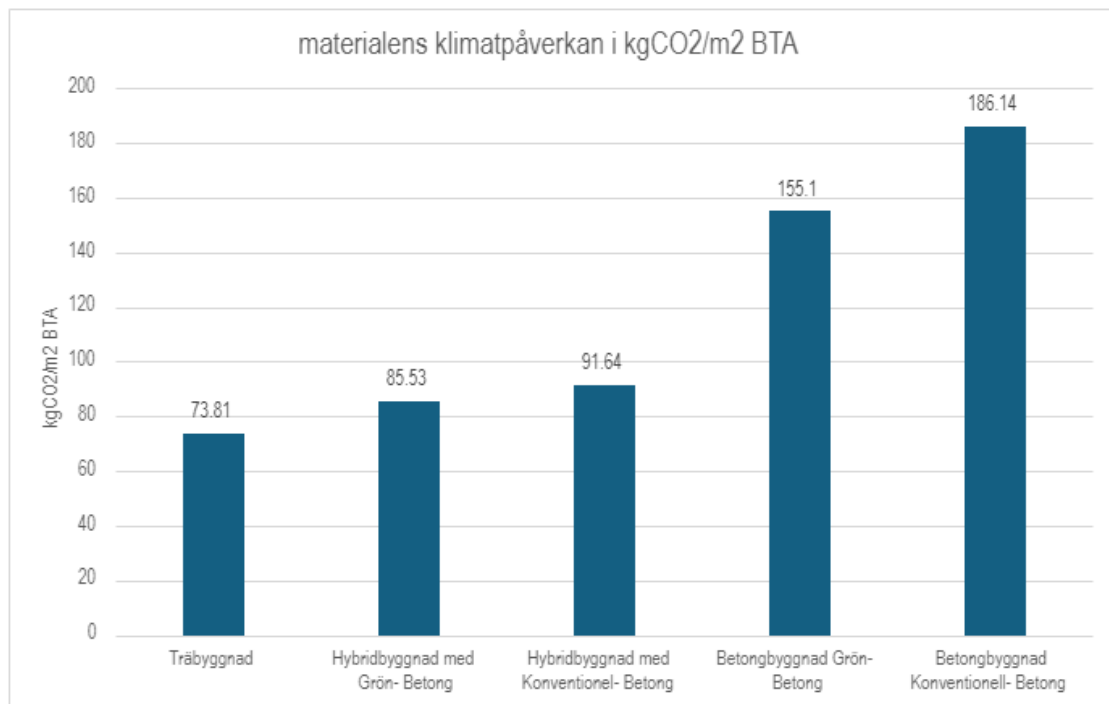
Klimatpåverkan som togs fram via materielmängderna och de generiska/produktspecifikadata presenteras i figur 8. I tabellen framgår det att Betongbyggnaden som är byggd med konventionell betong har högst, drygt dubbla, klimatpåverkan i jämförelse med träbyggnaden som har lägst klimatpåverkan. Det som är



Figur 8: Materialens klimatpåverkan i kgCO₂

4.1.1 Klimatpåverkan i (kgCO_2/m^2 BTA)

Klimatpåverkan per BTA från de olika byggnadskonstruktionerna redovisas i Figur 9. Det framgår av diagrammet även här att betongbyggnaden har störst klimatpåverkan per BTA vilket motsvarar $186,14 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{BTA}$ till skillnad från trä som har ett värde på $73,81 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{BTA}$.

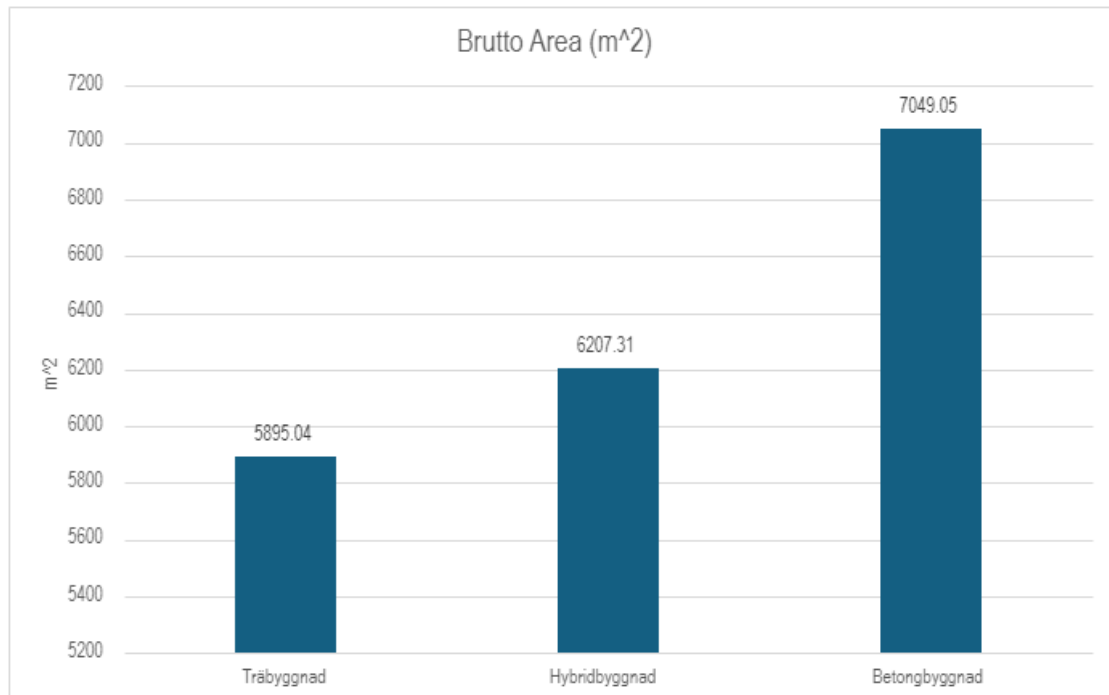


Figur 9: Materialens klimatpåverkan i kgCO_2/m^2 BTA

Legitimiteten för det framtagna resultatet kontrollerades med hjälp av nivåer för gränsvärden, framtagna ur Boverket. Enligt rapporten kan gränsvärden för diverse byggnadstyper införas som tidigast år 2025 och den ska behandla klimatpåverkan för modulerna A1-A5, vilket är samma systemgräns som vi har hållit oss till i vår studie. Gränsvärdet föreslås att omfatta samtliga byggdelar från grunden och dess isolering, exklusive solceller och fast utrustning. för flerbostadshus är gränsvärdet $375 \text{ (kgCO}_2/\text{m}^2 \text{ BTA)}$, vilket är ett värde vi håller oss inom och har marginal till. Detta är bra då vi inte har inkluderat de gemensamma byggnadskomponenterna för alla tre byggnader. Vidare är det värt att nämna att år 2027 ska klimatdeklarationen utökas. Då kommer klimatdeklarationen även inkludera modulerna B2, B4, B6 samt C1-C4 (Boverket, 2023 e).

4.1.2 Bruttoarea

I figur 10 presenteras BTA för olika byggnadskonstruktioner. Bruttoarean, som är summan av alla våningars yta och begränsas av byggnadsdelarnas yttre, beräknades för att ge en jämförelsegrund. Trots att betongkonstruktionen har den högsta klimatpåverkan, har den ändå den största bruttoarean ($7049,05 \text{ m}^2$). Detta beror på att det krävs färre bärande element i betongkonstruktionen. Denna faktor kan vara en anledning till att träkonstruktioner inte används lika mycket, och den kommer att utforskas vidare i följande avsnitt.



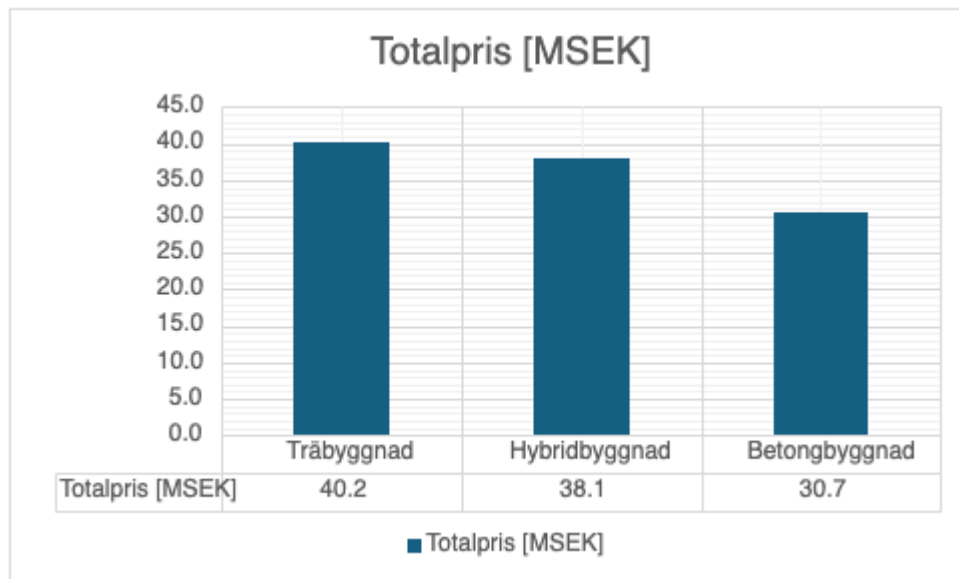
Figur 10: De olika byggnadernas bruttoarea (m^2)

4.2 Kostnadsberäkningar

Kostnadsberäkningen genomfördes enligt den tidigare nämnda metoden, där totalpriset för betong-, trä- och hybridbyggnaderna presenteras i figur 11. Totalpriset för samtliga konstruktioner inkluderar följande parametrar.

1. Den totala materialkostnaden för betong och trä för dem tre olika konstruktionerna.
2. Isoleringskostnaden för väggar och bjälklag för respektive konstruktion
3. Den uppskattade monteringskostnad för respektive stomsystem
4. Transportkostnad från fabrik till Pedagogen Park i Mölndal.

Figur 11 klagör att trästommen har den högsta samlade kostnaden, uppgående till över 40 miljoner kronor. Hybridstommen hamnar på andra plats med mer än 38 miljoner kronor, medan betongstommen är den mest prisvärda sett till dem övervägda parametrarna, med en kostnad på 30,7 miljoner kronor.



Figur 11: Totalpris för de tre studerade konstruktionsalternativen

5 Analys och Diskussion

I detta kapitel analyseras och diskuteras resultatet med litteraturstudien som grund. Analysen är baserad på arbetets erhållna resultat och hur de förhåller sig till frågeställningarna.

5.1 Analys och diskussion av klimatpåverkan

Klimatdeklarationen som skapades är i enlighet med lagkravet som fokuserar på byggnadens miljöpåverkan underbyggsfasen, vilket omfattar modulerna A1-A5. Resultatet av de beräknade klimatpåverkan är till större del baserade på generiska data hämtat från Boverket. Detta medför att resultatet som framkommit i rapporten inte är helt exakt för det referensprojekt vi haft. För att kunna ha en exakt beräkning för klimatpåverkan skulle vi behövt använda specifika data för varje byggnadskomponent.

Eftersom studiens miljöfokus är att jämföra byggnadskonstruktioners påverkan på miljön valde vi att undvika att inkludera gemensamma komponenter för samtliga byggnader, såsom takkonstruktionen, balkonger, hisschakt, samt pålar och grund. Det är av väsentlig betydelse att notera detta, då inkluderingen av dessa komponenter skulle ha resulterat i en högre klimatpåverkan, både i $[\text{kgCO}_2\text{e}]$ och $[\text{kgCO}_2\text{e}/\text{BTA}]$. Om vi teoretiskt skulle anta att klimatpåverkan per BTA skulle fördubblas när vi inkluderar de tidigare uteslutna komponenterna, skulle alla byggnader fortfarande hålla sig inom gränsvärdena. Detta stärker ytterligare vårt resonemang och våra beräkningar.

Resultaten visar att klimatpåverkan för en betongbyggnad med konventionell betong är över dubbla, cirka 250 procent, jämfört med en träbyggnad. Det mest signifikanta inslaget från denna studie är det betydande gapet i klimatpåverkan mellan grön betong och konventionell betong. Samtidigt är det också viktigt att notera att skillnaden i klimatpåverkan mellan en träbyggnad och en hybridbyggnad med grön betong inte är lika stor, cirka 15,8 procent. Utöver klimatpåverkan så konstaterades även att den byggnaden med störst bruttoarea är betongbyggnaden.

Den skillnaden i bruttoarea utgör en central faktor eftersom den direkt påverkar den ekonomiska lönsamheten för företaget och beställaren. Företag kan vara benägna att fortsätta med betongkonstruktioner eftersom det ofta innebär större bruttoarea jämfört med alternativa byggmaterial. För beställaren är bruttoarean av stor betydelse eftersom den utgör den primära faktorn för att bedöma den ekonomiska vinsten efter att byggnaden är färdigställd. Med en större boarea ökar möjligheterna till högre intäkter, vilket kan vara avgörande för beställarens lönsamhet och på lång sikt.

Utöver boarean är en annan betydande faktor som driver valet att använda betongkonstruktionens komplikationer som följer med träbyggnation. De risker som följer med träbygge, särskilt när man inte kan skydda materialet från väder och vind, kan vara avskräckande för entreprenörer och leda dem att välja den bekväma vägen genom att använda betong i stället. Det är dock viktigt att komma ihåg att byggnation i trä ofta tar mindre tid, vilket resulterar i minskade resurser som annars skulle ha gått till arbetskostnader. Genom att spara tid kan entreprenörer ta sig an fler projekt under arbetsåret och öka sin produktivitet

På en samhällsnivå skulle användningen av trä vid byggprojekt ha gynnat samhället mer genom att minska avstängningen av vägar under byggnationen. Träkonstruktioner har ofta fördelen att vara snabbare att montera jämfört med betongalternativ, vilket skulle minska den tid som vägar behöver stängas av för att tillåta byggtrafik och konstruktion. Detta skulle i sin tur minimera störningar och trafikstockningar för allmänheten, vilket kan bidra till en förbättrad livskvalitet och smidigare rörlighet för invånarna i samhället. Den kortare byggtiden med trä skulle också kunna leda till lägre kostnader för projektet och därigenom frigöra samhällsresurser för andra behov eller infrastrukturprojekt.

Vi är medvetna om att förändringar inom byggbranschen inte sker över en natt. Därför beslutade vi att undersöka ett tredje alternativ: hybridbyggnaden. Denna strategi visade sig ha betydligt mindre klimatpåverkan jämfört med en ren betongkonstruktion samtidigt som den erbjöd en större bruttoarea än en träkonstruktion. Genom att välja hybridalternativet ville vi framhäva att valet inte behöver vara enbart mellan betong och trä. Båda byggmaterialen har sina fördelar och nackdelar, men genom att kombinera dem kan man dra nytta av det bästa från båda världarna. Detta förslag erbjuder en flexibilitet och möjlighet till optimering som kan bidra till att möta både miljömässiga och funktionella krav.

5.2 Analys och diskussion av kostnadsberäkningen

Figur 11 tydliggör den betydande ekonomiska fördelen med att bygga ett stomsystem i betong, baserat på de kostnadsfaktorerna som valdes för kostnadsberäkningarna. Å andra sidan är limträkonstruktionen klart dyrare, mer exakt kostar en trästomme mer än dubbelt så mycket som en betongstomme. Hybridkonstruktionen ligger någonstans mittemellan trä- och betongalternativen i kostnadsanalysen, med en besparing på över 2,5 miljoner kronor genom att använda betong för den första våningen istället för trä. Genom att fortsätta med en ytterligare våning i betong ser man i mönstret att besparingen ökar till ca 5 miljoner kronor.

Trots att korslimmat trä visar sig vara ett dyrare alternativ i jämförelse med betong är det värt att påpeka att resultatet ändå främjar användandet trä som ett komplement till betong. Sett till att både grön- och konventionell betong har stor klimatpåverkan i jämförelse med trä, något som diskuterades i 5.1 är det viktigt att notera att den ekonomiska vinningen med att bygga i betong förloras i klimatpåverkan.

5.2.1 Grönbetong istället för konventionell betong?

Att ersätta konventionell betong med grönbetong är en kortsiktig bra lösning. Enligt en studie utförd av Tokovic och Abou Khalil, byggingenjörer på Malmöuniversitet, visar det sig att skillnaden i kostnad mellan grönbetong och konventionell betong är försumbar. Detta innebär att en omedelbar övergång från konventionell betong till grönbetong kan göras utan någon betydande ekonomisk eller teknisk nackdel. Genom att välja grönbetong istället för konventionell betong kan man effektivt minska byggnadens klimatpåverkan, vilket indikerar möjligheten att drastiskt reducera

miljöpåverkan utan att kompromissa med ekonomiska och tekniska aspekter. (Abou Khalil B & Tokovic S, 2022).

Dock har även grönbetong, vilket illustreras i figur 9, en betydligt högre klimatpåverkan än korslimmat trä. Detta innebär att grönbetong inte utgör en tillräckligt bra lösning ur ett ekologiskt perspektiv. Även om grönbetong kan betraktas som ett steg mot att minska miljöpåverkan jämfört med konventionell betong, bidrar det fortfarande till höga utsläpp. Detta innebär att grönbetong inte ensamt kan betraktas som ett fullständigt substitut för konventionell betong, vilket kan hindra arbetet mot att uppnå klimatmålen nämnda tidigare.

5.2.2 Optimering av Byggnadsmaterialval

När resultaten studeras och analyseras blir det tydligt att den mest optimala valet av byggnadsmaterial är en kombination av grönbetong och korslimmat trä. Genom att använda betong för den första våningen och trä för de följande våningarna kan man sänka både kostnaderna och klimatpåverkan. Som tidigare nämnts resulterar användningen av betong i en besparing på cirka 2,5 miljoner kronor för varje våning, samtidigt som man minskar klimatpåverkan med ungefär 70 kgCO₂e/m² BTA enligt figur 9. Denna lösning är den mest hållbara eftersom den skapar en balans mellan kostnad och miljöpåverkan.

Som tidigare nämnts innebär de krav som finns på spannvidder för träkonstruktionen ett ökat antal bärande innerväggar, vilket följaktligen leder till högre kostnader. Detta är en nackdel med vår hybridlösning, men en förbättring kan uppnås genom att optimera materialvalen ytterligare. En alternativ lösning för att minska behovet av bärande innerväggar är att använda en trästomme med en kärna av lättbetong eller skumplastisolering. Denna hybridlösning skulle ge byggnaden ökad stabilitet och samtidigt minska kostnaderna genom att eliminera behovet av extra bärande väggar. Därigenom behålls fördelarna med träets flexibilitet och hållbarhet. Denna lösning är en av flera där man kan minska mängden material och därmed sänka både kostnaden och klimatpåverkan.

5.2.3 Ekonomiska fördelar med korslimmat trä

Förutom den höga materialkostnaden för korslimmat trä finns andra viktiga parametrar som resultatet inte tar hänsyn till. Dessa parametrar är främst byggtidens direkta påverkan på ekonomin. Enligt Yutaka Goto, forskare inom träkonstruktioner på Chalmers tekniska högskola, med kollegor har konstruktionstiden en betydande inverkan på den totala byggnationskostnaden. Goto med kollegor från Arkitema samt Cowi menar att genom att bygga träkonstruktioner kan man spara upp 61% av den totala byggtiden i jämförelse med att bygga i betong (Goto, 2022).

För referensprojektet på Pedagoger Park, som detta arbete behandlar, har Skanska uppskattat att man hade sparat ungefär 4–5 månader av totalt 18 månader om man hade konstruerat byggnaden i trä, istället för betong. Detta är en ekonomisk fördel för trä på grund av många anledningar. Som tidigare nämnts innebär en kortare byggtid flera fördelar. För det första kan entreprenören sälja produkten betydligt tidigare

jämfört med om byggtiden hade varit längre. Detta innebär att intäkterna kan börja genereras snabbare. För det andra möjliggör en kortare byggtid att entreprenören hinner med fler projekt per år. Detta ökar inte bara företagets potentiella intäkter utan kan också bidra till en ökad mångfald i verksamheten och ett bredare kundunderlag. Vidare innebär en kortare byggtid även minskning i allmänna kostnader under konstruktionstiden. Dessa allmänna kostnader förekommer under byggtiden av el- och vattenförbrukning, löner, maskinell utrustning, underentreprenader och liknande nödvändiga utgifter. Dessa typer av kostnader är direkt beroende av tiden vilken innebär att en kortare byggtid för trä är ekonomisk lönsam ur det perspektivet.

Orsaken till den höga materialkostnaden för korslimmat trä kunde inte fastställas definitivt, men en teori är att den låga efterfrågan jämfört med betong leder till att leverantörerna strävar efter att maximera sina intäkter. Detta innebär att resultaten av den jämförelse som genomförs i denna studie kan variera över tiden. Om användningen av korslimmat trä ökar i framtiden kan det leda till att leverantörerna säljer större volymer och därmed kan sänka sina vinstmarginaler per projekt samtidigt som de uppnår betydande vinster.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att genom att jämföra en befintlig betongkonstruktion med en teoretisk träkonstruktion för samma ändamål kan kostnadsfördelar i form av kortare byggtid och lägre allmänna kostnader identifieras för träkonstruktionen. Miljöfördelar inkluderar betydligt lägre klimatpåverkan per kvadratmeter byggnadsarea för träkonstruktionen. Resultatet av denna jämförelse kan främja användningen av trä som ett miljövänligare byggmaterial genom att tydligt visa de ekonomiska och miljömässiga fördelarna med träkonstruktioner jämfört med betong. Optimering av valet av byggnadsmaterial för att minska emissioner och kostnader kan uppnås genom hybridlösningar som kombinerar grönbetong och trä, vilket erbjuder en balans mellan kostnadseffektivitet och minskad klimatpåverkan.

6 Slutsats

Slutligen går det att konstatera att det är möjligt att konstruera en trästomme i samma ljudnivåklass och termisk prestanda som en betongstomme, där det visades att det är möjligt att konstruera en byggnad för samma ändamål. Dock visade kostnadsanalysen i vår studie att det är en stor skillnad i kostnader mellan materialen. Resultatet visar även att byggnationer utformade med betong har en högre bruttoarea, vilket innebär att den försäljningsbara arean är större för betong än för. Detta beror främst på att träväggar som uppfyller samma termiska och akustiska klasser om betongväggar behöver vara tjockare.

Å andra sidan är trä ett lätthanterligt byggnadsmaterial vilket innebär att byggtiden för en träkonstruktion är oftast betydligt lägre än för trä. Detta är en ekonomisk fördel för trä då det som tidigare påpekats exempelvis sker en ekonomisk besparing genom att inte blockera vägar. En kortare byggtid innebär även att företagen kan börja ta betalt för hyra tidigare, entreprenaderna minskar sin arbetskostnad och de kan ta fler projekt per år. Byggande i trä handlar inte bara om materialkostnader utan det finns skeden i LCC som är mer gynnsamma när man bygger med trä. Transportkostnad är ett sådant exempel, trä som är ett lättare material kommer ha lägre kostnader

I texten beskrivs den låga användningen av trä som byggnadsmaterial främst på ”vi gör som vi brukar” mentaliteten enligt aktörer inom limträindustrin. Det är dock svårt att begränsa anledningarna till det. Det är helt enkelt inte lönsamt för entreprenader och beställare att bygga i trä om det finns en sådan stor skillnad i den ekonomiska lönsamheten för en byggnad. Företagen måste givetvis tjäna på sitt projekt och om det inte finns en möjlighet för det kommer de inte välja trä i framtida projekt.

Trots dessa för- och nackdelar med trä kvarstår problematiken med att klimatmålen behöver uppnås, enligt Agenda 2030. För att dessa mål ska uppnås måste vi aktivt jobba för att nå dem, och vi måste göra det snabbt. Att ersätta konventionell betong mot grönbetong är inte en tillräcklig lösning utan ytterligare åtgärder behöver genomföras. Av denna orsak går det inte att dra slutsatsen att man inte ska bygga i trä bara för att materialkostnaden är hög utan ta hänsyn till dem faktorerna som behandlades i diskussionen och se till att ta fram en lösning som är lönsam både ekonomisk och ekologisk.

Därför presenterade vi ett tredje alternativ, hybriden som var ett alternativ mellan ren trä och betong. Målet med det var att visa att det inte måste vara antingen eller, det finns en kompromiss som kan få branschen på rätt spår hållbarhetsmässigt men som samtidigt inte är lika dyr som en full träkonstruktion. Genom att optimera materialvalen kan branschen bidra till hållbarheten mer aktivt och den höga klimatpåverkan som byggindustrin har kan slutligen minskas.

7 Förslag till vidare studier

Studien som har genomförts kommer att förbli relevant under många kommande generationer. De lösningar som föreslås idag kan snart anses föråldrade och byggindustrin måste kontinuerligt anpassa sig och utvecklas. För att möta de krav och miljömål som tidigare nämnts krävs denna ständiga utveckling. Vår studie omfattar ett brett spektrum av områden och som en avslutande åtgärd vill vi föreslå vidare forskning som syftar till att främja branschen på ett hållbart och ekonomiskt sätt.

- Ett av huvudsyftena med vår genomförda studie är att omforma branschens vanor och bryta de traditionella normerna för byggmaterial. För att uppnå detta mål har vi använt oss av en kvantitativ metod. Som ett förslag till vidare studier inom området föreslår vi att man genomför en kvalitativ studie inom detta område. Denna studie bör innefatta intervjuer med ledande företag inom branschen för att undersöka deras synpunkter och erfarenheter. Genom att analysera deras perspektiv kan man bättre förstå varför trä inte används i större utsträckning och identifiera potentiella lösningar på de utmaningar de upplever.
- Med den ökade kraven på klimatdeklarationen som skall tillträda 2027 kommer högre krav ställas på vad som måste redovisas. Fler moduler kommer inkluderas, vilket i sin tur kommer att påverka de data som rör klimatpåverkan. Förslaget till vidare studier ligger i att integrera dessa moduler i klimatberäkningarna och genomföra en uppdaterad analys. Detta skulle möjliggöra för jämförelser med äldre studier, och därigenom kunna analysera och förstå eventuella skillnader i klimatpåverkan. Genom att göra detta kan vi få en mer komplett och aktuell bild av hur olika faktorer påverkar klimatet, och därmed bättre informera beslutsfattare och intressenter om vilka åtgärder som kan behövas för att minska vår miljöpåverkan.
- En avgörande parameter i jämförelsen är den stora skillnaden i bruttoarea mellan betong och träkonstruktionen. En vidarestudie kan vara för hade dessa värden sett ut om man hade minskat tjocklek på träväggar med hjälp bland annat vakuumisoleringspaneler etc.

8 Referenser

- Abou Khalil, B., & Tokovic, S. (2022). *Jämförelse mellan betong och klimatförbättrad betong*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1711303/FULLTEXT02.pdf>
- Almssad, A. (2015). *Betongkonstruktion*. Studentlitteratur.
- Petersson, B. (2018). *Tillämpad Byggnadsfysik*. Studentlitteratur.
- Boverket (2023 c). *Beräkna byggnadens klimatpåverkan*. Hämtad 2024-04-26 från <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/berakna/>
- Boverket (2023 a). *Bättre ljudklass än BBR*. Hämtad 2024-05-09 från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/bullerskydd/ljudklassning/>
- Boverket (2023 b). *Detaljerat om att beräkna klimatpåverkan*. Hämtad 2024-04-24 från <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/berakna/berakning/>
- Boverket. (2023 e). *Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan och en utökad klimatdeklaration*. <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2023/slutrapport-gransvarde-for-byggnaders-klimatpaverkan.pdf>
- Boverket (2019 a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. Hämtad 2024-02-18 från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket (2023 d). *Klimatdata till beräkningen*. Hämtad 2024-04-26 från <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/underlag/klimatdata-till-berakningen/>
- Boverket (2019 b). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. Hämtad 2024-03-22 från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovardeklaration-for-byggprodukter-epd/>
- Boverket (2024). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. Hämtad 2024-02-13 från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Brandt, E., Bunch-Nielsen, T., Kvist Hansen, T., Morelli, M., & Nielsen, A. (2022). *SBI anvisning 278. Fugt i bygning. Projektering och utførelse*. Aalborg: BUILD AAU.
- Burström, P. G. (2021). *Byggnadsmaterial Tillverkning, egenskaper och användning*. Studentlitteratur.
- Corluka, D., & Lönnqvist, S. (2014). *Beräkning av direktljud genom homogena betongväggar*. Hämtad 2024-05-09 från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:722616/FULLTEXT01.pdf>

- Dataholz.eu: [Compartment wall - dataholz.eu](https://dataholz.eu)
- Eneroth, B. (1984). Kvalitativ metod — kunskapsmodell och 'mätproblem'. *Sociologisk forskning*, 21(3/4), 81–87.
- FN-förbundet. (u.å.). *Vårt arbete med Agenda 2030 och de globala målen*. Hämtad 2024-02-13 från https://fn.se/vi-gor/utveckling-och-fattigdomsbekampning/agenda-2030/?gad_source=1
- Fröbel, J. (2019). *Dimensionering av träkonstruktioner projektering av träkonstruktioner*. Svenskt Trä. <https://www.svensktra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/dimensionering-av-trakonstruktioner1-2019.pdf>
- Gröndahl, F., & Svanström, M. (2011). *Hållbar utveckling: en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Liber.
- Hansson, T. & Gross, H. (1992). *Träbyggnadshandbok. 9, Material*. CTH. Sida 44
- Holme, I. M., & Solvang, B. K. (2001). *Forsknings-metodik: Om kvalitativa och kvantitativa metoder*. Studentlitteratur.
- Jönson, G. (1996). *LCA - a tool for measuring environmental performance*. Pira international.
- Liew, K. M., Sojobi, A. O., & Zhang, L. W. (2017). Green concrete: Prospects and challenges. *Construction & Building Materials*, 156, 1063–1095. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.008>
- Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J. & Erlandsson, M. (2021). Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader. ISBN: 978- 91-7873-954-7. *KTH skolan för Arkitektur och samhällsbyggnad*.
- Müller, H. S., Breiner, R., Moffatt, J. S., & Haist, M. (2014). Design and Properties of Sustainable Concrete. *Procedia Engineering*, 95, 290–304. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.189>
- Naturskyddsföreningen. (2022). *Cement, klimat och miljö*. Hämtad 2024-02-07 från <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>
- Piccardo, C., & Gustavsson, L. (2021). Implications of different modelling choices in primary energy and carbon emission analysis of buildings. *Energy and Buildings*, 247, 111145. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111145>
- Regeringskansliet. (u.å.). *Agenda 2030 | Mål 11 | Hållbara städer och samhällen*. Hämtad 2024-02-13 från <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/>
- Regeringskansliet. (2004). *Mer trä i byggandet: Underlag för en nationell strategi för att främja trä i byggandet*. <https://www.regeringen.se/contentassets/622a4cdde02a4026a3bc3c4f5d5b94aa/mer-tra-i-byggandet---underlag-for-en-nationell-strategi-for-att-framja-tra-i-byggandet-ds-20041>

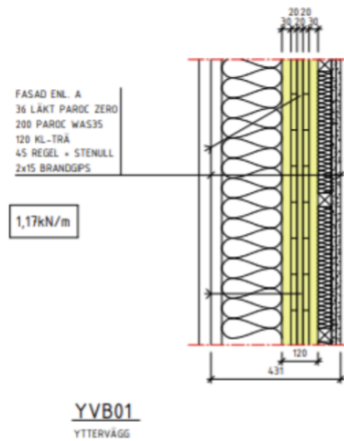
- Sandin, K. (2010). *Praktisk Byggnadsfysik*. Studentlitteratur.
- SFV. (2005). *Trä som byggnadsmaterial – krav och riktlinjer*.
<https://www.sfv.se/media/h3xfv4fs/sfv-tra-som-byggnadsmaterial-2005.pdf>
- SCB. (2023). Priser för nyproducerade bostäder 2022. Hämtad 2024-04-21 från
<https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/boende-byggande-och-bebyggelse/byggnadskostnader/priser-for-nyproducerade-bostader/pong/statistiknyhet/priser-for-nyproducerade-bostader-2022/>
- SGU. (2023). *Cement och betong*. Hämtad 2024-03-29 från
<https://www.sgu.se/mineralnaring/industrimineral/cement-och-betong/>
- Sivakrishna, A., Adesina, A., Awoyera, P. O., & Rajesh Kumar, K. (2020). Green concrete: A review of recent developments. *Materials Today : Proceedings*, 27, 54–58. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.202>
- Skogsindustrierna. (2022-01-26). Produktionsrekord och stark efterfrågan men många frågetecken för den svenska skogsindustrin inför 2022. TT Nyhetsbyrån. Hämtad 20/3 från <https://via.tt.se/pressmeddelande/3317626/produktionsrekord-och-stark-efterfragan-men-manga-fragetecken-for-den-svenska-skogsindustrin-infor-2022?publisherId=2236201>
- Svenskt trä. (2014). *Brandsäkert byggande*. Hämtad 2024-04-09 från
<https://www.svenskttra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2014-2/brandsakert-byggande/>
- Svenskt trä. (2020). *Nu slår vi hål på gamla myter och bygger mer i trä*. Hämtad 2024-04-02 från <https://www.svenskttra.se/om-oss/aktuellt/2020/7/nu-slar-vi-hal-pa-gamla-myter-och-bygger-mer-i-tra/>
- Svenskt trä. (u.å). *Trä i byggprocessen*. Hämtad (2024- 02-13) från
<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/bygga-i-tra/>
- Svenskt trä. (2018). *Överdriven oro för fukt och trä i Skandinavien*. Hämtad 2024-03-21 från <https://via.tt.se/pressmeddelande/2533171/overdriven-oro-for-fukt-och-tra-i-skandinavien?publisherId=2241425>
- Trafikverket. (2021). *Miljövarudeklarationer (EPD)*. Hämtad 2024-03-22 från
<https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/arbetsatt-och-metoder-for-miljo-i-vag--och-jarnvagsprojekt/livscykelanalys-i-anlaggningsprojekt/miljovardeklarationer-epd/>
- TräGuiden. (2021). *Limträ*. Hämtad 2024-05-10 från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/konstruktionselement1/limtra/>
- TräGuiden. (2017). *Träfiberskivor*. Hämtad 2024-04-21 från
<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/skivmaterial1/trafiberskivor/>
- Williams, A. S. (2009). *Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach*. Illinois sustainable Center <https://www.ideals.illinois.edu/items/14477>

Goto, Y. (2022). *Construction cost of timber buildings*. Från
https://research.chalmers.se/publication/532727/file/532727_Fulltext.pdf

Bilagor

Bilaga 1a: U-värdesmetoden för yttervägg i trä

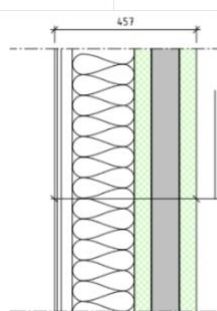
$$U=1/R_{tot} \text{ där } R_{tot} = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si}$$



Lufttjudsisolering= 49dB+-3
(Dataholz.eu)
Referens: External Wall awmhh03a-00

Material	λ_n [W/mK]	d_n [m]	R_n [m ² *k/W]	U-värde
R _{se}				0.04
Läkt Paroc Zero	0.033	0.036	1.090909091	
Parox Was35	0.033	0.2	6.060606061	
KL-trä	0.13	0.12	0.923076923	
Stenull	0.037	0.045	1.216216216	
Brandgips	0.25	0.03	0.12	
R _{si}				0.13
R _{tot}			9.580808291	
U=1/R _{tot}				0.104375327

Bilaga 1b: U-värdesmetoden för yttervägg i betong



4-9 TUNNPUTS ENL. STO VENTEC FASADSYSTEM
12 VENTECSKIVA
36x98 VERTIKALT SPIKLÄKT c/c 30-900 & PAROC XFS 004
MULTI MONTI FASADSKRUV BETONG
200 KLIMATSKIVA TYP PAROC WAS 35 KLIMATSKIVA ZERO
PAROC XFM 005 ISOLERINGSHÄLLARE BETONG
200 PREFAB SKALVÄGG

Luftljudsisolering= 58.8dB

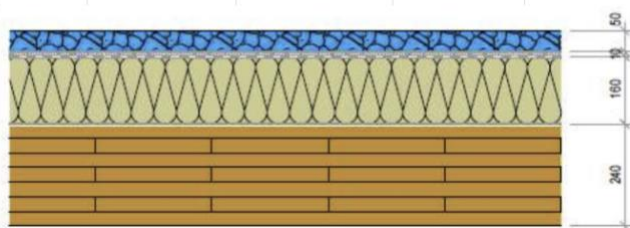
Regeldokument - Linnéuniversitetet (diva-portal.org)

YV06
PORTIK 03, 25

Material	λ_n [W/mK]	dn [m]	R_n [m ² *k/W]	U-värde
R _{se}				0.04
Tunnputs		1	0.009	0.009
Ventecsiva	0.037	0.012	0.324324324	
Spikläkt	0.024	0.036	0.036	1.5
Patoc Was 35	0.033	0.2	6.060606061	
Prefab btg	1.7	0.2	0.117647059	
R _{si}				0.13
R _{tot}			8.181577444	
U=1/R _{tot}				0.122225819

Källa: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/termiska-egenskaper/varmeegenskaper/>

Bilaga 1c: U-värdesmetoden för Bjälklag i trä.



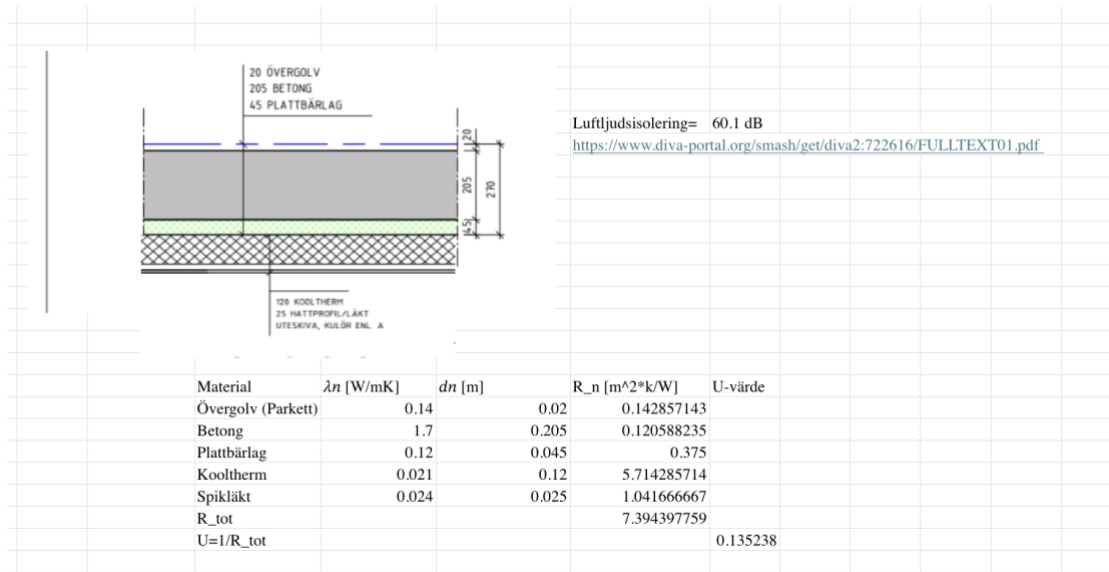
Luftljudsisolering= 63 dB

Ljud - TräGuiden (traguiden.se)

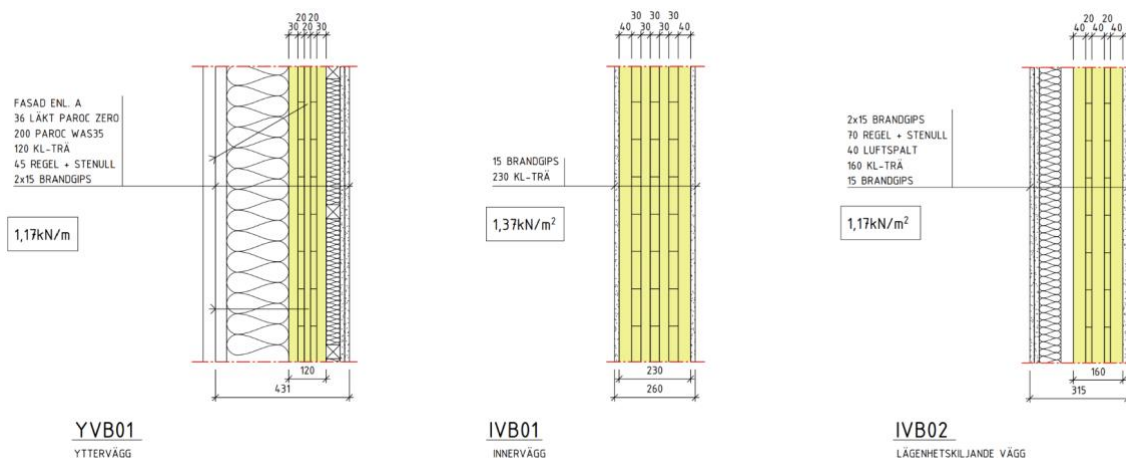
Material	λ_n [W/mK]	dn [m]	R_n [m ² *k/W]	U-värde
Betong		1.7	0.05	0.029411765
Ångspärr	0.037	0.01	0.27027027	
Stenull	0.037	0.16	4.324324324	(spikläkt)
KL-trä	0.13	0.24	1.846153846	
R _{tot}			6.470160205	
U=1/R _{tot}				0.154555678

<https://www.barlinek.se/laggning/barlinek-floorboard-floor-heating/>

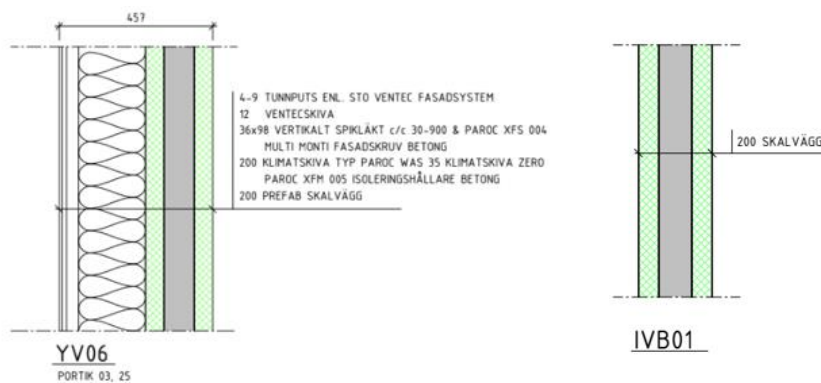
Bilaga 1d: U-värdesmetoden för Bjälklag i Betong.



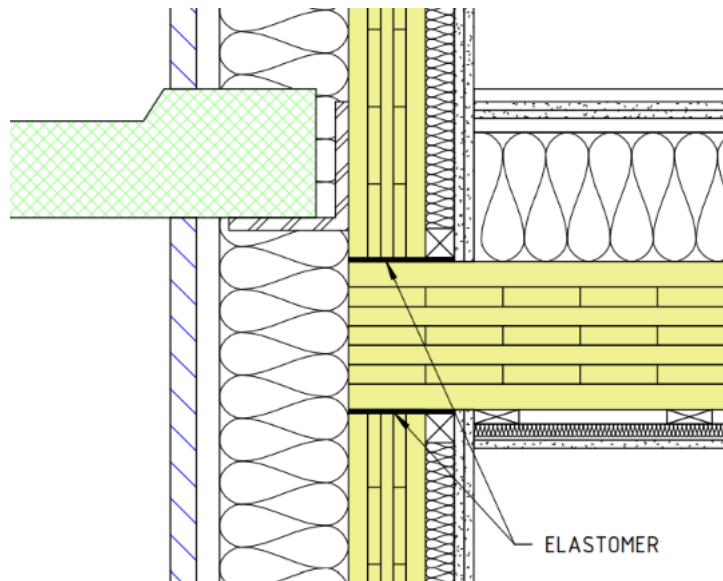
Bilaga 2: Konstruktionsdetaljer för använda träväggar



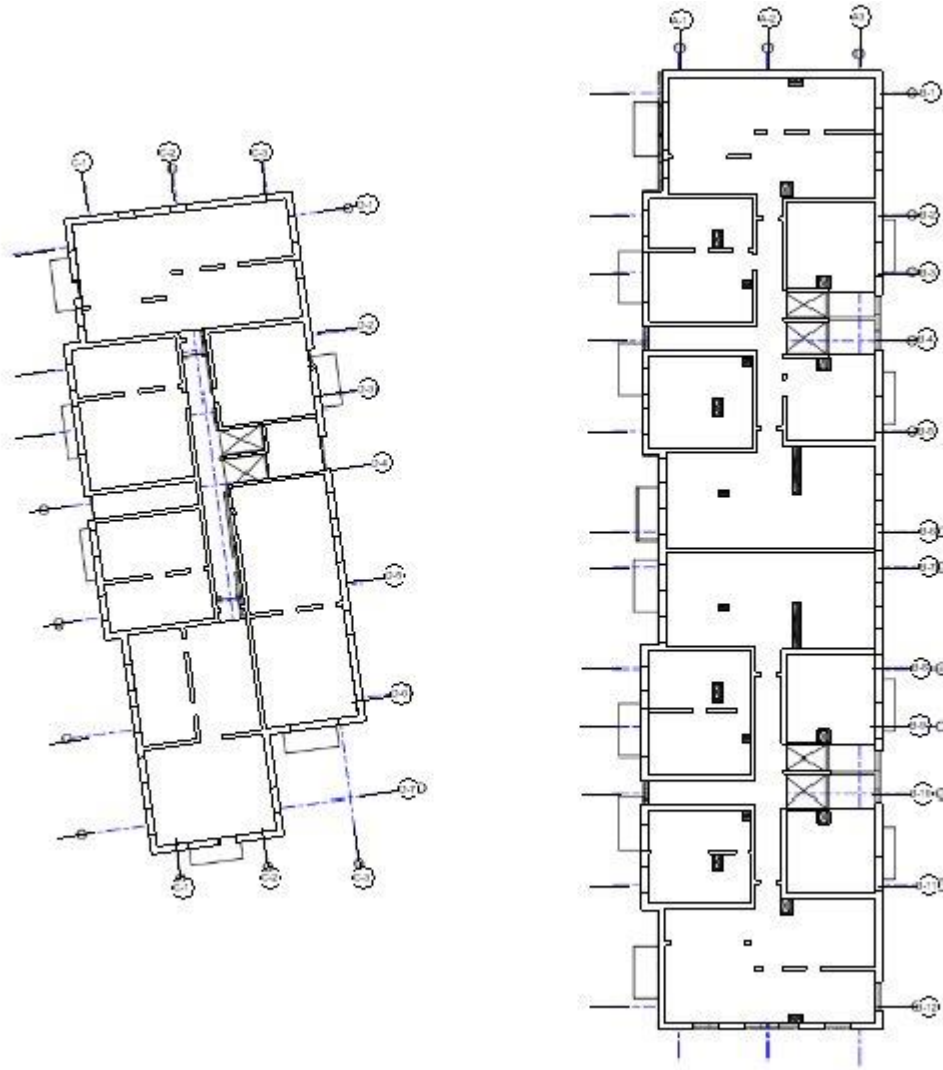
Bilaga 3: Konstruktionsdetaljer för använda betongväggar:



Bilaga 4: Konstruktionsdetalj för infästning mellan bjälklag och vägg



Bilaga 5: Normalplan med endast bärande komponenter för träkonstruktion:



Bilaga 6: Normalplan med endast bärande komponenter för betongkonstruktion:

