

# Energi och klimateffektiva byggsystem

## Miljövärdering av olika stomalternativ

Eva-Lotta Kurkinen, Joakim Norén, Diego Peñaloza  
Nadia Al-Ayish, Otto During

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



# Energi och klimateffektiva byggsystem

## Miljövärdering av olika stomalternativ

Eva-Lotta Kurkinen  
SP Byggnadsfysik och innemiljö

Joakim Norén, Diego Peñaloza  
SP Träbyggande och boende

Nadia Al-Ayish, Otto During  
CBI Betonginstitutet AB

## Abstract

### Energy and climate efficient building systems

In the collaborative forum Positive footprint housing® Riksbyggen is building the Viva residential quarter, which is a sustainability project at the very forefront of what is possible with contemporary construction. The idea is that this residential quarter should be fully sustainable in ecological, economic and social terms. Since 2013, a number of pilot studies have been completed under the auspices of the Viva project framework thanks to financing from the Swedish Energy Agency.

The various building frame alternatives that have been evaluated are precast concrete, cast in-situ concrete and solid wood, all proposed by leading commercial suppliers. The report includes a specific requirement for equivalent functions during the use phase of the building, B. An interpretation has been provided that investigates the building engineering aspects in detail, as well as an account of the results based on the social community requirements specified in Viva, durability, fire, noise and energy consumption in the Swedish National Board of Building, Planning and Housing building regulations (BBR), plus Riksbyggen's own requirements, Sweden Green Building Council's Environmental Building Gold (Miljöbyggnad Guld) and 100-year life cycle. Given that the alternatives have different long-term characteristics (and also that our knowledge of these characteristics itself varies), these functional requirements have been addressed by setting up different scenarios in accordance with the EPD standard EN 15978.

Because Riksbyggen has specified a requirement for a 100-year life cycle, we have also opted for an analysis period of 100 years.

The results show no significant differences between concrete and timber structures for the same functions during the life cycle, either for climate or for primary energy. The minor differences reported are accordingly less than the degree of uncertainty involved in the study.

The available documentation on the composition of the relevant intumescent paint coating on solid wood frames differs from source to source, so it was not possible to fully allow for the significance of this.

The LCA has not included functional changes in the building linked to load-bearing characteristics, noise, moisture, health or other problems that may result in increased maintenance and replacement. The concrete houses have been dimensioned for 100 years, for instance, in accordance with tried and tested standards and experience. The solid wood house is not dimensioned in the same way, and this has led to us having to assume various scenarios.

The results also show the following:

- The uncertainties involved in comparing different structures and alternative solutions are very significant. The results are affected by factors such as life cycle, the functional requirements taken into consideration, transportation, design and structural details, etc.
- Variations in the built items and a considerable degree of uncertainty in the assumptions make it difficult to obtain significant results on comparisons. Only actual construction projects with known specific data, declared from a life cycle perspective that takes into account actual building developer

requirements and involving different scenarios (best, documented and worst-case) for the user stage can currently be compared.

- In the other hand, comparisons restricted to different concrete structures only, or to different timber structures only, ought to involve a lower degree of uncertainty, These would then provide results that are significant as well as improvement requirements that are relevant.
- There is potential for improving concrete by imposing requirements on the material
- There is potential for improving solid wood frames by developing and guaranteeing well-documented long-term characteristics for all functional requirements.

The LCAs were performed as an iterative process where all parties were given the opportunity to submit their viewpoints and suggestions for changes during the course of the work. This helped ensure that all alternatives have been properly thought through.

Because, during the project, Riksbyggen opted to procure a concrete frame, in the final stage the researchers involved focused on ensuring the procurement process would result in the concrete frame as built meeting the requirements set out above. As things currently stand, the material requirements for the concrete are limited by the production options open to the suppliers, and this is therefore being investigated in the manufacture of precast concrete frames for the Viva cooperative housing association.

Key words: building systems, climate impact, CLT wood frame, lean concrete frame, sustainable building, LCA, EPD

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2015:70  
ISSN 0284-5172  
Borås 2017

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>5</b>
<b>Förord</b>	<b>6</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>9</b>
1.1 Mål	10
<b>2 Bostadsrättsföreningen Viva</b>	<b>11</b>
<b>3 Projektets arbetssätt och beskrivning av stommarna</b>	<b>13</b>
3.1 Projektets arbetssätt	13
3.2 Massivträstomme med KL-trä	13
3.3 Betongstommar	15
<b>4 Livscykelanalys (LCA)</b>	<b>18</b>
4.1 Omfattning och genomförande	18
4.1.1 Geografisk täckning	19
4.1.2 Funktionell enhet	19
4.1.3 Miljöpåverkanskategorier	19
4.1.4 Beräkning av biogent kol	19
4.1.5 Karbonatisering av betong	20
4.1.6 Datakvalitet	20
4.2 Inventering	20
4.2.1 Produktionen (modul A1–A3)	21
4.2.2 Transporter (modul A2 och A4)	21
4.2.3 Konstruktion (modul A5)	21
4.2.4 Användningsfasen 100 år (modul B2, B4, B6)	22
4.2.5 Slutskede (modul C)	29
<b>5 Miljöpåverkansbedömning</b>	<b>30</b>
5.1 Resultat Betongstommarnas klimatpåverkan och energianvändning	30
5.2 Resultat Massivträstommens klimatpåverkan och energianvändning	31
5.3 Jämförelse mellan stommaterialen	32
<b>6 Slutsatser</b>	<b>35</b>
<b>7 Referenser</b>	<b>37</b>
<b>Bilaga A. Byggnadsdelar i analyserade byggsystem</b>	<b>40</b>
<b>Bilaga B. Klimatpåverkan och primärenergi för alla material, aktiviteter och processer i studien</b>	<b>42</b>
<b>Bilaga C. Sammanställning av skillnader för massivträkonstruktionens olika scenarior</b>	<b>45</b>

## Förord

Projektet Energi och klimateffektiva byggsystem har genomförts med stöd av Energimyndigheten. Arbetet har varit uppdelat i tre delar varav denna rapport redovisar den tredje delen som är en jämförande analys av tre olika alternativ för stomme. Projektet har studerat en fastighet som Riksbyggen planerar att bygga bostadsområdet Viva intill Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg.

LCA-beräkningar har genomförts av Joakim Norén och Diego Peñaloza SP Hållbar samhällsbyggnad (trä) samt Nadia Al-Ayish och Otto During CBI Betonginstitutet (betong). Eva-Lotta Kurkinen, SP Hållbar samhällsbyggnad, har ansvarat för sammanställning av rapporten utifrån de genomförda LCA-beräkningar.

Information till beräkningarna har kommit från övriga deltagare i projektet vilka är:

- Strängbetong AB
- Thomas Betong AB
- Martinsons Byggsystem AB
- Malmström Edström Arkitekter
- Göteborgs Energi
- Cementa
- SP Energiteknik
- Bengt Dahlgren
- Riksbyggen

## Sammanfattning

I samarbetsforumet *Positive footprint housing*<sup>1</sup> bygger Riksbyggen bostadsområdet Viva som är ett hållbarhetsprojekt i framkanten av vad som går att bygga idag. Bostadsområdet skall uppnå ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Genom finansiering från Energimyndigheten har en rad förstudier utförts allt sedan 2013 inom ramen för Viva-projektet.

De olika stomalternativ som har utvärderats är prefabricerad betong, platsgjuten betong och massivträ, alla föreslagna av kommersiella ledande leverantörer. Rapporten innefattar specifikt krav på likvärdiga funktioner under byggnadens användningsfas. Utifrån de krav som ställs i Vivaprojektet; beständighet, brand, ljud och energianvändning enligt boverkets byggregler BBR samt Riksbyggens egna krav; Miljöbyggnad Guld och 100 år livslängd har en utökad byggnadsteknisk tolkning och resultatredovisning gjorts. De alternativen har olika, och även olika kända, långtidsegenskaper, har dessa funktionskrav hanterats genom att etablera olika scenarier enligt EPD-standarden EN 15978.

Då Riksbyggen har ställt krav på 100 års livslängd har även analysperioden valts till 100 år.

Resultaten visar inga signifikanta skillnader vid samma funktioner under livslängden, varken för klimat eller för primärenergi mellan betong- och träkonstruktionerna. De mindre skillnader som redovisas är alltså mindre än de osäkerheter som studien har.

Den dokumentation som finns om den för massivträstommens aktuella brandskyddsfärgens sammansättning skiljer sig åt mellan olika källor varför denna betydelse inte kunnat beaktas fullt ut.

LCA studien har inte inkluderat funktionsförändringar i byggnaden kopplat till bärighet, ljud, fukt, hälsa eller andra problem som kan medföra ökat underhåll och utbyte. Betonghusen har tex dimensionerats för 100 år enligt beprövade standarder och erfarenheter. Det föreslagna massivträhuset saknar motsvarande dimensionering. Denna relativa skillnad gör att konstruktionerna egentligen inte är jämförbara, vilket lett till att olika scenarier antagits.

Resultaten visar även;

- att osäkerheterna vid jämförelser av olika konstruktioner och alternativa lösningar är mycket stora. Faktorer som livslängd, beakta funktionskrav, transporter, konstruktion och konstruktionsdetaljer mm påverkar resultatet.
- variationer i det som byggs samt stora osäkerheter i antaganden gör det svårt att erhålla signifikanta resultat vid jämförelser. Enbart faktiska byggprojekt med kända specifika data, deklarerade i ett livscykelperspektiv som beaktar faktiska byggherrekra och med olika scenarier (bästa, dokumenterade, sämsta fallet) för användarskedet, kan idag jämföras.

<sup>1</sup>Positive Footprint Housing® är ett samarbetsforum i Göteborg initierat av Riksbyggen med partners från Chalmers, Göteborgs Universitet, Johanneberg Science Park, Göteborg Energi, Malmström Edström Arkitekter, Bengt Dahlgren och SP. Syftet är att skapa ett helhetstänkande kring hållbar bostads- och stadsutveckling med människan i centrum. I forumet står social hållbarhet, energieffektivitet och minskad miljöpåverkan i fokus och omfattar forskare med kompetens inom arkitektur, teknik och inom det sociala området. Forskningsprojektet ”Energi och klimatteffektiva byggsystem” som detta arbete är en del av har sitt ursprung i detta forum.

- däremot torde jämförelser mellan olika betongkonstruktioner sinsemellan, respektive olika träkonstruktioner sinsemellan, ha mindre osäkerheter vilket ger möjlighet till både signifikanta resultat som till relevanta förbättringskrav.
- förbättringsmöjligheterna för betong genom att ställa materialkrav.
- förbättringsmöjligheter för massivträstommen genom att utveckla och säkerställa väl dokumenterad långtidsegenskaper för alla funktionskrav.

LCA-analyserna har genomförts som en iterativ process där samtliga parter har haft möjlighet att lämna synpunkter och förslag till förändringar under arbetsgången. Detta har bidragit till att alla alternativen är väl genomarbetade från olika aspekter.

Då Riksbyggen under projektet valt att upphandla en betongstomme har inblandade forskare i slutskedet fokuserat på att i en upphandling säkerställa att den byggda betongstommen uppfyller ovan ställda krav. Gränsen för materialkrav på betongen beror i nuläget på leverantörernas produktionsmöjligheter vilket alltså undersöks vid tillverkning av prefabricerade betongstommen till Brf Viva.



# 1 Inledning

I samarbetsforumet *Positive footprint housing*<sup>2</sup> bygger Riksbyggen bostadsområdet Viva som är ett hållbarhetsprojekt i framkanten av vad som går att bygga idag. Bostadsområdet skall uppnå ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Genom finansiering från Energimyndigheten har en rad förstudier utförts allt sedan 2013 inom ramen för Viva-projektet.

De olika alternativ som har utvärderats är en stomme med prefabricerad betong, en stomme i platsgjuten betong och en massivträstomme. Baserat på Riksbyggens förprojektering och parallella delprojekt har Martinsons Byggsystem AB, Strängbetong AB samt Thomas Betong AB inkommit med av dem bedömda realistiska förslag som utgjort grunden för klimat- och energideklarationerna. Underlaget till beräkningarna är ritningar framtagna av arkitekterna i Malmström Edström som också beräknat ytor av bjälklag, balkonger och olika typer av väggar. Det finns en betonggrund medtagen i beräkningarna som är lika för alla alternativen. Jämförelsen har gjorts på hus som har samma boyta (BOA). Den platsgjutna stommen innehåller utöver platsgjuten betong även plattbärlag och balkonger i prefabricerad betong.

Projektet avrapporterades formellt hösten 2015 med bla följande resultat [1];

”Inom ramen för projektet Energi och klimateffektiva byggsystem har miljöbelastningen för olika konstruktionstyper analyserats över hela dess livcykel. Påverkningsbara faktorer som materialval, transporter, uppvärmningssystem etc. har identifierats. Resultaten visar att när man gör aktiva val av påverkningsbara faktorer ser vi inga signifikanta skillnader under livscykeln, varken för klimat eller för primärenergi mellan betong- och träkonstruktionerna.”

Dessutom har CBI Betonginstitutet separat lämnat riktlinjer till Riksbyggen för materialkrav inför den faktiska upphandlingen av den valda stommen av prefabricerad betong.

Delprojekt 3, som denna rapport avser, förlängdes hösten 2015, och innefattar en ytterligare utveckling av LCA-metodiken genom att omfatta krav på likvärdiga funktioner i användarfasen. Funktionskraven i användarfasen B har i analyserna utformats som scenarier enligt EPD-standarden SS-EN15978. Förlängningen av delprojekt 3 utökades därför med:

- En byggteknisk utökad tolkning och resultatredovisning utgående ifrån de i Viva ställda krav på funktionerna beständighet, brand, ljud och energi i Boverkets byggregler BBR, samt Riksbyggens egna krav, Miljöbyggnad Guld och 100 års livslängd.

Riksbyggen beslutade utifrån framtaget underlag sommaren 2015 att upphandla stomme i prefabricerad betong. Den upphandlade konstruktionen har vidareutvecklats och detaljprojekterats och är inte densamma som den som använts i denna rapport. Däremot

---

<sup>2</sup> Positive Footprint Housing® är ett samarbetsforum i Göteborg initierat av Riksbyggen med partners från Chalmers, Göteborgs Universitet, Johanneberg Science Park, Göteborg Energi, Malmström Edström Arkitekter, Bengt Dahlgren och SP. Syftet är att skapa ett helhetstänkande kring hållbar bostads- och stadsutveckling med människan i centrum. I forumet står social hållbarhet, energieffektivitet och minskad miljöpåverkan i fokus och omfattar forskare med kompetens inom arkitektur, teknik och inom det sociala området. Forskningsprojektet ”Energi och klimateffektiva byggsystem” som detta arbete är en del av har sitt ursprung i detta forum.

har E2B2 beviljat ett uppföljningsprojekt där bl a den faktiskt byggda konstruktionen ska klimat- och energideklarerars samtidigt som de erfarenheter som nåtts i detta projekt kring upphandling av klimat- och energiriktigt betongbyggande ska kunna användas brett.

## **1.1 Mål**

Målet med studien var att ta fram och dokumentera ett beslutsunderlag om klimat- och energipåverkan för val av stommaterial och fasad i de planerade bostadshusen. Resultaten från studien avsågs användas i detaljprojekteringen då bl a materialval och konstruktiv utformning slutligen beslutas.

I samband med att delprojektet förlängdes utvidgades målet till att även innefatta utveckling av LCA-metodiken kopplat till uppfyllandet av ställda krav på beständighet, brand och energianvändning under byggnadens användning, det vill säga modul B enligt SS-EN 15804.

## 2 Bostadsrättsföreningen Viva

Viva är ett bostadsområde som planeras i stadsdelen Johannesberg i Göteborg intill Chalmers Tekniska Högskola. Totala boarean är 6 078 kvadratmeter fördelade på tre låga och tre höga huskroppar som ligger i en sluttning.

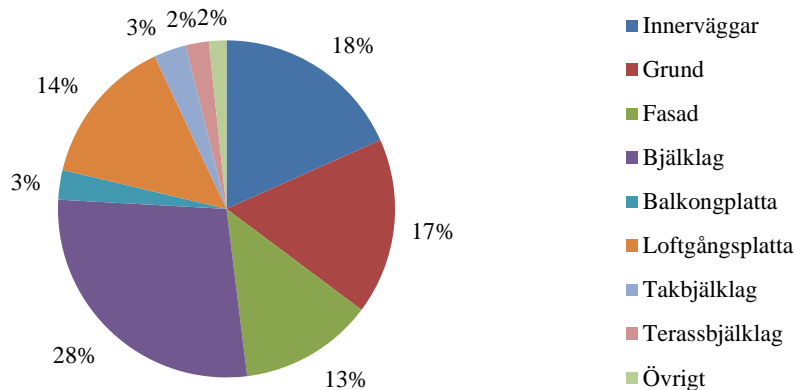


Figur 1 Modell av Brf Viva.

Lägenheterna som planeras är relativt små vilket kompenseras med stora gemensamma utrymmen och möjligheter till att odla på taken. Genom ett flertal flyttbara lätta väggar kan ytan i lägenheten anpassas efter olika behov. Den långa planerade livslängden på 100 år har valts dels för att den stämmer med husets ekonomiska avskrivningsplan, dels för att sammantaget få en låg miljöbelastning per år.

Studien omfattar endast de material och produkter som ingår i husets klimatskärm inklusive innerväggar, bjälklag övriga stomstabiliserande komponenter och grund. Ytandelarna av respektive konstruktion som beaktas i denna rapport redovisas i Figur 2.

**Ytandelar av konstruktionerna i brf Viva**



Figur 2 Andelen av olika byggdelar (total area 27 204 m<sup>2</sup>). Mängderna är erhållna från Malmström Edström Arkitekter Ingenjörer AB.



## 3 Projektets arbetssätt och beskrivning av stommarna

### 3.1 Projektets arbetssätt

Riksbyggen bjöd 2013 in tre kommersiella aktörer att lämna in förslag på rimliga konstruktioner för massivträ (Martinsons), prefabricerad betong (Strängbetong) samt platsgjuten betong (Thomas Betong). Stommarna skulle uppfylla samhällets normkrav för beständighet, brand och energianvändning och Miljöbyggnad Guld samt vara klassificerade enligt Sunda Hus. Byggdetaljerna beskrivs i Bilaga A.

Utifrån projektets krav och förutsättningar har energianvändning och klimatpåverkan analyserats och utvärderats. Tidiga resultat har publicerats i en intern rapport *Energigruppens rapport 2014-10-15* med deltagande från Riksbyggen, Göteborg Energi, Chalmers, Malmström Edström Arkitekter, SP Hållbar Samhällsbyggnad och CBI Betonginstitutet under ledning av Bengt Dahlgren AB. Dessa resultat levererades till Riksbyggen, som använde dem som ett av beslutsunderlagen vid valet av stomme med prefabricerad betong. Resultaten har presenterats av Riksbyggen i många sammanhang, bl a i en pressrelease [2] och en artikel i Bygg & Teknik av Otto During [3].

Denna rapport utgår ifrån samma, av företagen 2013 inlämnade förslag, som i vissa stycken vidareutvecklats och korrigerats med avseende på materialmängder m m.

Dessutom har konstruktionernas påverkan under användningsfasen (B2, B4 samt B6) utvecklats genom att utgå ifrån de ställda kraven på beständighet, brand och energi som redovisats i olika scenarios i enlighet med EPD-standarden SS-EN 15978. På grund av varierande indata för underhåll, utbyte och transporter för massivträhuset har två scenarier utvecklats, nämligen;

Scenario 1 - i huvudsak utifrån leverantörens egna data, ”bästa fall”

Scenario 2 - i huvudsak utifrån publicerade resultat och dokument, ”styrkt fall”

Man skulle också kunna tänka sig ett scenario 3 (”värsta fallet”) som utgörs av att livslängden endast är 50 år och hela huset måste uppföras igen, men det scenariot har inte beräknats.

Detta arbete kräver mycket detaljkunskap och arbetet har i vissa fall fått begränsats. Det gäller främst funktioner under användarfasen som hälsa, fuktproblem etc. Konsekvenserna av detta redovisas i rapporten. Installationer ingår inte heller.

### 3.2 Massivträstomme med KL-trä

Huset med massivträstomme har baserats på ett byggsystem med bärande element av KL-trä (korslimmat trä, även kallat CLT eller massivträ), som produceras av Martinsons i Byggsiljum. Detta system används idag i flerbostadshus med trästomme högre än fyra våningar.

KL-trä används i yttervägg, bärande och stabiliserande väggar, mellanbjälklag samt i balkong och loftgångsbjälklag. I lägenhetsskiljande väggar och rumsdelande icke bärande innerväggar är stommen av konstruktionsvirke. Byggnadsdelarna är redovisade i Bilaga A. En sammanställning av materialen som ingår i de olika byggnadsdelarna ges i Tabell

1. Huset med massivträstomme har samma grundkonstruktion av platsgjuten betong som de båda betongalternativen. Av projektets ytandel motsvarar grunden 17 %.

Ytterväggen har en träfasad av 25 mm limträpanel. Valet av träfasad var ett krav från Riksbyggen. Eftersom huset har fler än två våningar ställer detta särskilda krav på åtgärder som minskar risken för brandspridning längs fasaden. Kraven kan uppfyllas med boendesprinkler eller med en brandskyddsmålad alternativt brandskyddsimpregnerad träpanel. Enligt Riksbyggen var en sprinkling av byggnaden inget alternativ. Valet blev därför att använda en brandskyddsbehandlad träpanel. I analysen antas att fasaden målas med en brandskyddsfärg typ Teknos Firesafe 2407 så att avsedd brandklass uppnås.

Detta alternativ är dock inte optimalt för höga trähus eftersom det kräver underhåll. Istället används normalt en putsad fasad eller en obehandlad träfasad i kombination med sprinkler.

Behovet av stabiliserande väggar har bedömts behövas av Martinsons vilket medför att ca 60 % av de icke bärande innerväggar som är rumsdelande i betongfallet utförs bärande och stabiliserande. I beräkningarna antas rumsindelningen och antalet stabiliserande väggar vara lika på varje plan. I analysen har samma boarea BOA antagits i alla jämförelser. Enbart byggnadsdelar med KL-trä antas vara producerade i Bygdsiljum. Övriga väggar med regelstommar av konstruktionsvirke tillverkas på plats med material från lokala leverantörer i Göteborg. Transporten av byggelement från Bygdsiljum sker med lastbil.

På ovansidan och sidorna av KL-trä-skivorna finns ett tätskikt av gummiduk och en impregnerad trätrall. Infästningen i stommen kräver plåtarbete och uppdragning av gummiduken under väggfasaden. Undersidan av både loftgångar och balkonger är inklädda med en brandskyddsimpregnerad träpanel.

Massivträhuset har vid samma BOA som betonghusen ca 4 % större volym på grund av tjockare väggar och bjälklag. Detta tillåts i aktuell detaljplanen varför det inte får några konsekvenser i denna studie.

Jämfört med tidigare Energirapport har konstruktioner och materialdata justerats i enlighet med aktuella EPD, genomgående har BOA använts istället för BTA, justeringar har gjorts för att bli jämförbar med betongkonstruktionerna, allmänt har data anpassats till svensk industri med svensk el och värme, att elens nätförluster nu är medtagna, felräknade mängder har korrigerats och scenarierna för B1-B6 har justerats. Dessutom har materialmängderna för loftgång och balkonger justerats, både kopplat till tidigare för små mängder, dels till de faktiska konstruktionslösningar som krävs för skydd av infästning i stommen.

Tabell 1 Material som ingår i massivträhusets byggnadsdelar.

Material	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Ytvikt [kg/m <sup>2</sup> ]	Mängd i Viva [kg]
KL-trä	400		820 000
Limträ	450		86 000
Sågat och hyvlat trä	440		200 000
Plywood	500		22 000
Gipsskiva, normal (typ A)	720	9,0	140 000
Gipsskiva, brand (typ F)	820	13	140 000
Stenull	28		80 000
Plastfolie, 0,2 mm		0,18	570
Vindskyddsväv, 0,2 mm		0,1	310
Gummiduk		1,7	11 000
Skruv/spik			1 400
PP rör för fästen			570
Betong	2400		900 000
Armering			16 000
Cellplast	30		6 300
Grund- och toppfärg		0,5	1 500

### 3.3 Betongstommar

Liksom massivträstommen har betongalternativen en platsgjuten betonggrund som utgör ca 17 % av ytandelarna. En låg klimatpåverkan har eftersträvat vid konstruktionen genom att använda typtvärnsnitt som är materialeffektiva samt att använda betong och armering med låg klimatpåverkan. Betongstommen har dimensionerats för 100 år utifrån dels Eurocode, dels utifrån exponeringsklass enligt SS-EN 206 [4].

Exponeringsklasserna visar bland annat vilken typ av cement som skall användas, hur stor inblandningen får vara av tillsatsmaterial och vilket förhållande mellan vatten och cement (vct-tal) som ej får överskridas. Vct-talet ger en indikation på betongens porositet. En låg porositet ger stark och motståndskraftig betong. Låg porositet kan även åstadkommas genom partikelpackning genom inblandning av finmaterial. För att minska klimatpåverkan används cement med inblandning av slagg och flygaska.

Riksbyggen har valt bort så kallade uppbyggda övergolv vilket annars minskar betongmängderna.

Jämfört med tidigare Energirapport har CO<sub>2</sub>-upptaget genom karbonatisering tagits med, genomgående har BOA använts istället för BTA samt att elens nätförluster nu är medtagna.

#### Prefabricerad betongstomme

För att uppnå en låg klimatpåverkan har Cementa gentemot Riksbyggen åtagit sig att ta fram material för att blanda ett nytt cement som motsvarar CEM II/B-V. Inblandningen av flygaska i denna cementblandning kan vara upp till 30 % vilket ger en lägre miljöpåverkan än dagens bascement (CEM II/A) där ca 15 % flygaska blandas in [5]. Strängbetong föreslog att bjälklagen gjuts som håldäck vilket har ca hälften så mycket material som ett massivt bjälklag. Då håldäcken i sig sparar material ställdes ett lägre krav på inblandning av flygaska men sades ändå motsvara CEM II/A. För att inte en ökad tillsats med flygaska skall leda till att mer cement används i recepten så begränsas

mängden bindemedel till 350 kg/m<sup>3</sup> för inomhuskonstruktioner och 400 kg bindemedel/m<sup>3</sup> för utomhuskonstruktioner, se Tabell 2.

### Plattsgjutet

Det plattsgjutna alternativet är framtaget av Thomas Betong AB som är ett av få svenska företag som använder höga inblandningar av slagg i betongen. I förslaget används en betong som kallas FBLC50 där Thomas Betong lyckats halvera klimatpåverkan från en standardbetong. Den höga inblandningen av slagg kan ge längre tider innan avformning men bjälklagen gjuts på plattbärlag som samtidigt fungerar som form vilket gör att avformning undviks. I utsatta konstruktioner används en lägre inblandning av slagg. Balkonger och loftgångar görs som prefabricerade plattor med samma betong som för den prefabricerade betongstommen. Transportavståndet från betongfabriken till byggarbetsplatsen har uppskattats till 10 km.

### Valda betongkvaliteter

De valda betongkvaliteterna för prefabricerat och plattsgjutet är listade i Tabell 2 och 3 med tillhörande andel bindemedel och tillsatsmaterial samt vct.

Begränsningarna i betongsammansättningarna beror på produktionspåverkan, det vill säga förlängs betongs härdningstid ökas normalt de ekonomiska kostnaderna. Nedan angivna sammansättningar bedöms inte påverka produktionstiden för betongen. En viktig del i upphandling och byggande av brf Viva är just för att utvärdera detta.

Tabell 2 Plattsgjuten betong som använts i LCA beräkningarna.

Betong	Yta m <sup>2</sup>	Volym m <sup>3</sup>	Bindemedels- mängd [kg] / m <sup>3</sup> betong	Bindemedel
Prefab håldäck, grund	1 700	180	350	82 % CEM II/A-V (flygaskecement) 18 % tillsatt flygaska vilket ger en klinkerfaktor på 65 %
Prefab utomhus grund	5 900	840	350	82 % CEM II/A-V (flygaskecement) 18 % tillsatt flygaska vilket ger en klinkerfaktor på 65 %
Prefab inomhus grund	1 200	180	400	82 % CEM II/A-V (flygaskecement) 18 % tillsatt flygaska vilket ger en klinkerfaktor på 65 %
Prefab plattbärlag	7 600	380	320	CEM II/ B-S(30 % slagg)
Plattsgjutna väggar och bjälklag	10 000	2 100	300	CEM II/ B-S (30 % slagg) + GGBS ger totalt ca 60% slagg
Plattsgjuten fasad och taksarg	3 500	580	280	CEM II/ B-S (30 % slagg)
Plattsgjutna källarväggar, platta på mark	1 700	380	280	CEM II/ B-S med (30 % slagg)



Tabell 3 Prefabricerad betongstomme som använts i LCA beräkningarna.

Betong	Yta m <sup>2</sup>	Volym m <sup>3</sup>	Bindemedels- mängd [kg] / m <sup>3</sup> betong	Bindemedel
Innerväggar och innerskiva fasad (Innemiljö)	7 100	1 200	350	82 % CEM II/A-V (flygaskcement) 18 % tillsatt flygaska vilket ger en klinkerfaktor på 65 %
Håldäck prefab (Innemiljö)	9 200	980	350	100 % CEM II/A-V (flygaskcement) vilket ger en klinkerfaktor på 86 %
Ytterskiva fasad, loftgångar och balkonger (Utemiljö)	9 400	1 100	400	82 % CEM II/A-V (flygaskcement) 18 % tillsatt flygaska vilket ger en klinkerfaktor på 65 %
Plattsgjutna källarväggar, platta på mark	1 700	380	280	CEM II B-S, med 30 % slagg

Karbonatisering av betongerna under 100 års användning har beräknats i enlighet med prEN standard EN 16757 – Product Category Rules for concrete and concrete elements.

## 4 Livscykelanalys (LCA)

LCA studien är uppbyggd enligt SS-ISO 14 044 och genomförs i sina olika delar Planering – Inventering – Miljöpåverkansbedömning – Tolkning [6]. Eftersom syftet med studien var att gå in i ett tidigt skede i projekteringen för att ge underlag till val av stomme finns fortfarande många osäkerheter om hur den slutliga byggnaden blir i verkligheten. I projektet kallas därför LCA-studien för en förstudie även om den är betydligt mer detaljerad än vad som är vanligt för en sådan.

### 4.1 Omfattning och genomförande

Vid jämförelsen av olika konstruktiva utformningar har systemgränserna varit lika vilket är en förutsättning för en robust jämförelse.

Inventeringen av byggnaden omfattar hela byggnadens livscykel där användningsfasen B baserar på scenarier i enlighet med SS-EN 15978 [7]. Redovisningen av miljöeffekterna i livscykeln följer uppdelningen i moduler enligt SS-EN 15978 [7] och SS-EN 15804 [8], se Tabell 4. Eftersom studien omfattar endast stomme och fasad så beaktas inte modulerna som avser användningen av installationer.

Tabell 4 Ingående moduler i beräkningarna.

Produktionsfas			Konstruktionsfas	
A1	A2	A3	A4	A5
Råmaterial- framställning	Transport till fabrik	Tillverkning av byggmaterial	Transport till byggarbetsplats	Arbete på byggarbetsplats
Användningsfas				Slutfas
B2	B4	B6	C	
Underhåll under 100 år	Utbyte av byggdelar under 100 år	Energianvändning under drift i 100 år	Rivning av byggnaden	

När huset rivits i modul C når materialflödena studiens systemgräns och rivningsmassorna passerar systemgränsen som icke allokerade flöden. Efter rivning om 100 år kan flera olika scenarier vara tänkbara. Vi väljer att byggdelar och material säljs i befintligt tillstånd efter rivning.

Betongens klimatpåverkan och resursanvändning av primäre energi har beräknats i ett EPD-program för betong. Data har förts över till ett excelverktyg där byggdetaljer har ritats upp och beräkningar har utförts för modulerna A1–A3. Slutligen har hela resultatet räknats ut i en excelfil där både träberäkningar och betongberäkningar jämförts. Energikonsulten Bengt Dahlgren har beräknat husets energianvändning med programmet IDA ICE.

Följande byggdetaljer ingår i inventeringen:

- Ytterväggar inklusive fasadmaterial och ytskikt
- Innerväggar, bärande och icke-bärande
- Bjälklag, våningsbjälklag, klimatskiljande bjälklag
- Grund, platta på mark
- Loftgångar och balkonger

Följande ingår inte i inventeringen:

- Tak- och terrassbjälklag
- Pelare (i slänt)
- Växthus
- Glaspartier, fönster och dörrar
- Ytskikt in- och utvändigt med undantag av fasad
- Installationer
- Invändiga snickerier

Livslängden för flerbostadshus är lång beroende på samhällets och byggherrarnas ekonomiska och miljömässiga kalkyler. Då Viva projektet går ut på att skapa ett hållbart koncept för framtiden har Riksbyggen valt 100 års livslängd.

I LCA-sammanhang används begreppet ”analysperiod” när man deklarerar miljöpåverkan. Detta begrepp är inte att förväxla med konstruktionens livslängd utan enbart ett sätt att förenkla jämförelser. Då Riksbyggen har ställt krav på 100 års livslängd har även analysperioden valts till 100 år. Detta stämmer också med bostadsrättsföreningens ekonomiska avskrivningsplan.

#### 4.1.1 Geografisk täckning

Beräkningarna är framtagna specifikt för projektet Brf Viva i Göteborg. Transporter och material är valda för de troligaste alternativen för att åstadkomma en hållbar stomme i betong eller trä. Specifika produktdata från miljövarudeklarationer har använts i stor utsträckning.

#### 4.1.2 Funktionell enhet

Den funktionella enheten (FU) har i studien valts till *1 m<sup>2</sup> boarea (BOA) under 100 år* i ett flerbostadshus där ingående byggnadsdelar uppfyller samma funktion med avseende på BBRs krav, dock enbart beständighet, brand och energianvändning under användningsskedet.

#### 4.1.3 Miljöpåverkanskategorier

Påverkanskategorierna som har valts till denna livscykelanalys är klimatpåverkan enligt IPCC GWP100 med enheten kg CO<sub>2</sub>-ekv/FU samt total förnybar och icke-förnybar primäre energi i MJ/FU.

#### 4.1.4 Beräkning av biogent kol

Det trä som används antas komma från skogar där återplantering sker och att upptag av CO<sub>2</sub> av växterna motsvarar senare utsläpp av CO<sub>2</sub>. Därför beräknas biogent kol som klimatneutralt dvs. att både upptag till biomassa och utsläpp av biogent kol tar ut varandra och netto klimatpåverkan blir därför noll.

Träproduktens klimatneutralitet är en sätt att simplificera beräkningar kring biogent kol [9]. Koldioxidupptagningen i skogen kan vara antingen högre eller mindre än det biogena utsläppet i slutskedet, detta beror på lokalt specifika aspekter kopplade till skogens kolbalans och det behövs betydligt mer data än vad detta projektet haft tillgång till för en sådan analys. Det kan dock noteras att ur ett livscykelperspektiv kan effekten av skogens kolbalans få stor betydelse, men detta är ett mycket komplext problem som ligger utanför

denna studiens omfattning [10a]. Likaså berörs inte eventuella effekter av långtidslagring av koldioxid eftersom det saknas vedertagna metoder för detta [10b] och [10c].

#### 4.1.5 Karbonatisering av betong

Under betongens livstid sker det en kemisk reaktion kallat karbonatisering, där luftens koldioxid reagerar med kalciumhydroxid i betongen och bildar kalciumkarbonat. Hur stor denna koldioxidupptag är och vad den har för inverkan i detta projekt analyseras med en metod ur rapporten, Lagerblad [10d]. I metoden tas det bland annat hänsyn till hållfasthetsklass, till vilken grad betongen är exponerad för luft, ytskikt och bindemedel. Lagerblads ekvation för beräkning av mängden koldioxid som tas upp är:

$$CO_2 - \text{upptag} = 0,75 * C * CaO * \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} * V_{\text{karb}}, [kg CO_2]$$

Där,

0,75 = Andelen CaO som är karbonatiserad i det karbonatiserade betongskiktet.

C = Mängd portlandcement per m<sup>3</sup> betong

CaO = Mängd CaO i cement [vikt-%]= 0,65

M = Molmassan av respektive ämne

V<sub>karb</sub> = Volym av det karbonatiserade betongskiktet.

Effekten av karbonatiseringen kommer från och med 2017 att vara standardiserad.

#### 4.1.6 Datakvalitet

Värden som valts för miljöpåverkan är oftast specifika för valda konstruktionsdelar och representativa för den svenska marknaden. Lokal energiproduktion av fjärrvärme, Bra Miljöval, har valts som den mest representativa data för bygget i Göteborg. Specifik cement har tagits från granskade miljövarudeklarationer enligt SS-EN 15804. Betongrecept har erhållits från lokala producenter. Specifika detaljer har tagits från Martinsons som är den enda producenten av KL-trä i Sverige. För el används data frånecoinvent 3.0 med svensk el justerad med handel av el med utlandet, om inget annat anges. I bilaga B redovisas klimatpåverkan och primärenergi för alla material, aktiviteter och processer i studien.

## 4.2 Inventering

Husen har ritats av Malmström Edström Arkitekter Ingenjörer AB. Arkitekten har beräknat totala areor av väggar och bjälklag. Dessa programhandlingar har använts vid LCA-analysen.

Detaljutförandet för byggnadsdelarna i de analyserade stomalternativen, se bilaga A, har tillhandahållits från respektive tillverkare av de olika byggsystemen. I beräkningarna antas de höga husens nedre våningar i sluttningsdelen under entréplan vara lika. Hos de låga husen antas det nedersta bjälklaget ovanför pelarna vara lika.

I första hand har specifik data från producenter i form av miljövarudeklarationer, EPD, använts i beräkningarna. EPDerna är tredjepartsgranskade, följer SS-EN 15804 och är representativa för den svenska marknaden. Där EPD saknas för vissa material hämtas data från Ecoinvent. Se bilaga B för en komplett lista över använda material, aktiviteter och resurser.

### 4.2.1 Produktionen (modul A1–A3)

I betongalternativet används EPDer som är specifika för den svenska marknaden för beräkning av cementens miljöpåverkan. Information om ballastens miljöpåverkan är hämtad ur IVLs rapport [11]. Flygaska är en restprodukt och baserat på en ekonomisk allokering har den inte tilldelats någon miljöpåverkan. Vid framställning av betong för platsgjutning går det åt 18 kWh/m<sup>3</sup> el och 12 kWh/m<sup>3</sup> värme i betongfabriken. Vid prefabricerade betongelement åtgår 70 kWh el och 70 kWh/m<sup>3</sup> värme [12].

Motsvarande uppdelning för framställning av limträ och KL-trä saknas. Martinson använder inget fossilt bränsle i sågverket eller vid limträ/KL-trä produktionen med undantag för interna transporter. Energianvändningen vid produktionen är uteslutande vattenkraft eller biomassa.

### 4.2.2 Transporter (modul A2 och A4)

Transportaktiviteter i A2 och A4 modulerna är beräknade via NTMs (Nätverket för Transporter och Miljön) avancerade godskalkyl [13]. Enligt NTM är lutningsgradienten 0 % för Sverige, det vill säga att marken är platt, vilket resulterar i en lägre klimatpåverkan än om marken skulle ha haft en högre lutningsvariation [13]. Då jämförelsen mellan de tre konstruktionerna beror på möjlighet till returlast har alternativa beräkning gjorts för konstruktionerna.

För betongfallet har antagits att Strängbetong respektive Thomas Betong levererat betongen från sina fabriker i Göteborgs närområde. Vid transport av cement, ballast och platsgjuten betong räknas alltid med en tom returtransport. För de prefabricerade elementen beräknas transporten till byggplatsen ha en lastfyllnadsgrad på 100 % medan returen antas kunna vara både 100 % lastfylld eller tom (0 %). Båda fallen räknas och skillnaden anges i figurtexten till Figur 7 och 8. Avståndet för prefabricerad betong har i studien antagits vara avståndet mellan Herrljunga till Göteborg. För övriga transporter varierar avståndet beroende på leverantör, och kan vara långa, men i normalfallet är leverantörerna i södra Sverige.

För träfallet tillverkas merparten av träkomponenterna i norra Sverige vilket medför längre transportavstånd. Transporten av träkomponenter från tillverkningen till byggplats sker i dagsläget främst med lastbil vilket också har valts som det troligaste alternativet i LCA beräkningarna. Transport med tåg har dock bedömts som ett mindre troligt alternativ för det tillverkande företaget eftersom möjligheten att transportera stora komponenter är begränsad. Båttransport från Umeå bedöms också som ett möjligt alternativ, men inte lika troligt som vägtransport. Vid transporten av träelementen med lastbil ingår även en stor del isolering vilket gör att lasten är skrymmande. Lastfyllnadsgraden blir därför 50 %. I retur antas lastbilarna vara fulla för scenario 1 och för scenario 2 fyllda till två tredjedelar. Avståndet mellan Göteborg och Bygdsiljum är 105 mil.

För lokalt trä har antagits regionala leverantörer och dessa transporter räknas alltid med en tom returtransport.

### 4.2.3 Konstruktion (modul A5)

För byggaktiviteter räknas energianvändning från byggmaskiner. En energifaktor av 60 MJ för trä och 60 MJ för prefabricerad betong samt 110 MJ för platsgjuten betong per kvadratmeter BTA har använts enligt Björklund & Tillman [14]. För byggandet av

betongstommar är energin uppdelad på hälften el och hälften diesel. För byggandet av trästommen används endast el.

#### 4.2.4 Användningsfasen 100 år (modul B2, B4, B6)

En viktig del i LCA är att säkerställa den funktionella enheten under användningsfasen. Detta är en förutsättning vid jämförelser men svårt att hantera när man ska jämföra olika konstruktioner med olika förutsättningar. Alla alternativ är heller inte detaljprojekterade utan enbart av företagen lämpliga och kommersiella förslag utifrån Riksbyggens ställda krav. I enlighet med EPD-standarden SS-EN 15978 beslöt vi att använda två olika scenarier;

- scenario 1 som utgår i huvudsak från leverantörens egna data, ”bästa fall”
- scenario 2 som utgår i huvudsak från publicerade resultat och dokument, ”styrkt fall”

Därmed fås också en uppfattning av tillförlitligheten av resultaten. Resultaten kommer att visa betydelse, möjligheter och begränsningar i att göra sådana jämförelser.

Scenarierna omfattar endast beständighet, bärighet, brand och energi. Fukt, hälsa och förändrade ljudegenskaper under användningsfasen har inte studerats.

Vi tar i projektet inte ställning till vilket alternativ som byggherren ska välja, men dessa scenarier gör det möjligt för olika aktörer att göra egna bedömningar. Vi hoppas givetvis att fortsatt arbeten ska kunna utveckla dessa scenarier så att det kommer att bli möjligt att framöver göra fler och mer relevanta jämförande studier.

#### Fasad inkl beständighet (modul B2 och B4)

För betong dimensioneras och säkerställs beständigheten hos fasad och övriga konstruktionsdelar genom val av exponeringsklass enligt EN 206:2013, en metod som bygger både på dokumenterade teoretiska studier och på mångåriga uppföljande fältstudier. Betong är ett obrännbart material och i det här fallet dimensionerad för en livslängd på 100 år.

För massivträkonstruktionen behöver fasaden skyddas genom målning. Detta görs eftersom Riksbyggen hade kravet på att sprinklers inte skulle användas. Brandskyddsfärg typ Teknos Firesafe 2407 används.

#### Betong

För den platsgjutna betongstommen har det antagits en putsad fasad som byts två gånger under husets livstid. Den prefabricerade betongen antas vara underhållsfri [14a] då den dimensionerats enligt EN 206:2013 för aktuell exponeringsklass (omgivande miljö).

#### Scenario 1 massivträ

I scenario 1 används det underhålls- och utbytesintervall för träfasaden som enligt Martinsons motsvarar det färgsystem som Martinsons använder idag. Detta scenario för underhåll av fasaden (modul B2) med typ av åtgärd och omfattning i procent av fasadens yta vid olika underhållstillfällen ges i tabell 5. Fasaden bedöms underhållas sex gånger på 100 år.

Tabell 5 Scenario 1 för underhåll (B2) och utbyte (B4) av fasaden.

Underhåll [nr]	Utbyte fasadpanel [%]	Grundmålning [%]	Målning toppfärg [%]
1	-	2	100
2	10	15	100
3	20	25	100
4	50	55	100
5	20	25	100
6	10	15	100

I scenario 1 antas brandskyddsfärgen ha goda långtidsegenskaper avseende urlakning. Vid beräkningen har brandskyddsfärgen approximerats med ett vattenburet färgsystem bestående av alkydoljebaserad grundfärg och toppfärg för vilka miljödata finns tillgängliga. Pålagd mängd antas vara 350 g/m<sup>2</sup> för grundfärgen och 150 g/m<sup>2</sup> för toppfärgen.

#### Scenario 2 massivträ

I ”Beständighet för utomhusträ ovan mark: Guide för utformning och materialval” [15], finns en beräkningsmetodik som tar hänsyn både till fasadens specifika konstruktion men även dess geografiska läge. Metoden är framtagen inom Branschforskningsprogrammet för Skogs- och Träindustrin (BFP) genom WoodBuild och är tänkt att användas som hjälpmedel och stöd vid utformning av träkonstruktioner utomhus med avseende på beständighet och livslängd. Man ska kunna dimensionera m h t beständighet på motsvarande sätt som man dimensionerar bärande konstruktioner m h t hållfasthet. Genom tillämpning av guiden skall man kunna få ett rimligt säkert mått på förväntad livslängd hos den aktuella konstruktionen, som bygger på visionen att trä i utomhusexponerade tillämpningar och i klimatskärmen ska vara, och uppfattas vara, ett säkert och ingenjörsmässigt självklart val. SP har i rapporten ”Livslängd för paneler i Brf Viva” [16] utifrån denna guide beräknat aktuellt underhåll och utbyte i det faktiska Göteborgsklimatet. Beräkningarna indikerar livslängden för en väl underhållen och väl utformad panel för brf Viva. Om underhållet inte sköts reduceras givetvis livslängden avsevärt. Utifrån resultaten i rapporten har underhåll och utbyte valts enligt tabell 6.

Tabell 6 Scenario 2 för underhåll (B2) och utbyte (B4) av fasaden.

Underhåll [nr]	Utbyte fasadpanel [%]	Utbyte pelare och balkar i anslutning till balkonger och loftgångar [%]	Övrigt trä utbyte* [%]	Grundmålning och toppfärg [%]
1				100
2				100
3	100	100		100
4				100
5			100	100
6	100	100		100
7				100
8	100	100		100
9				100
10				100

\* trätrall, massivplatta

Det finns idag inte några typgodkända brandskyddsfärger för utomhusbruk utan täckfärg. Ett sådant system blir dessutom väldigt känsligt eftersom varje skada i ytskiktet riskerar att äventyra brandskyddsfärgens brandtekniska egenskaper genom urlakning eller upplösning. Därför anges i [17] att ”Vid ommålning ska man grundmåla på nytt med brandskyddande färg”.

Scenario 2 utgår ifrån utbyte och ommålning enligt tabell 5 men att vid varje ommålning avlägsnas befintlig färg och både grundfärg och toppfärg läggs på.

Brandskyddsfärger kan baseras på organiska bindemedel och aktiva ingredienser som reagerar och skapar ett kolliknande skikt när det blir utsatt för värme. Det innebär att brandskyddsfärgen säkert har en annorlunda miljöpåverkan än ett vanligt vattenburet färgsystem. Den dokumentation som finns om den aktuella brandskyddsfärgen sammansättning skiljer sig åt mellan olika källor varför denna betydelse inte kan beaktas utan det får noteras att detta inte ingår i studien. I denna studie har därför samma vattenbaserade färgsystem och pålagda mängder använts som i scenario 1.

#### **Ytterväggens beständighet (modul B2 och B4)**

Både trä- och betongkonstruktioner har använts under långa tider oftast med goda erfarenheter. På senare år har ett energieffektivt byggande i kombination med ett varmare och fuktigare klimat ändrat de byggnadsfysikaliska förutsättningar för byggnader så att det är osäkert om tidigare erfarenheter är giltiga. Mycket generaliserat har energieffektiva byggnader idag betydligt tjockare isolering än tidigare vilket ger en kallare yttervägg med risk för kondens inne i ytterväggen liksom att eventuellt inkommande slagregn inte längre torkas ut [18], [19] och [20]. Energieffektiva byggnader är också beroende av en hög lufttäthet som hindrar värmeförluster genom luft rörelsen genom väggen, detta har även betydelse då den hindrar tillförsel av inomhusfukt in i konstruktionen, och därmed risken för fuktskador och hälsoproblem. Forskare har uttryckt detta som ”Byggherrar bör därför inte lita på traditionell framtagning av konstruktioner- och byggsystem så länge inte utvärdering av konstruktioners prestanda har gjorts och dokumenterats” (Olsson och Hagentoft) [20].

För både platsgjuten och prefabricerad betong säkerställs lufttätheten i betongskikten. Mineralull och cellplast är varken åldrande eller hygroskopiska material och redovisade materialegenskaper är långtidsegenskaper. Inne i betongväggarna utsätts inte heller materialet för fukt eller höga temperaturer. En litteraturstudie kring långtidserfarenheterna hos cellplast har också gjorts omfattande flera referenser bland annat [21]. Denna studie stödjer att både platsgjuten betong och prefabricerade sandwich betongelement har 100 års funktionstid avseende värmeisolering och lufttäthet. Under sin användningstid måste dock betongkonstruktioner, på samma sätt som för massivkonstruktioner, fogar och anslutningar till fönster etc underhållas. Dessa fogar antas likvärdiga för samtliga konstruktioner och tas därför inte med i analysen

Dagens energieffektiva ytterväggar i trä har höga krav på utformning eftersom ytterdelarna blir kallare och där med mer känsliga för fuktskador. Specifikt har de också ökande risker genom att lufttätheten hos plastfolie försämras vid åldring, t ex anges i Ylmén mfl [22] att halva lufttätheten kan tappats efter 50 år på grund av plastfoliens åldring.

I massivträhusets scenario 1 antas att konstruktionen under 100 år varken får fuktskador eller hälsoproblem.

I massivträhusets scenario 2 antas att plastfolien och isolering byts ut efter 50 år eftersom dess livslängd inte kan säkerställas efter det. Plastfolien ligger inne i konstruktionen,



135 mm in från väggens insida och den är svårigen utbytbar utan en mycket stor påverkan på miljö, hyresgäster och ekonomi. Påverkan på klimat- och energi kvantifieras i denna rapport men scenariot undervärderar fortfarande klimatpåverkan vid ett utbyte eftersom ingen hänsyn tas till ovan nämnda punkter. Alternativet till detta scenario skulle vara att begränsa funktionstiden till t ex 50 år.

### **Livslängd konstruktion, både stomme och loftgång/balkonger (modul A och B)**

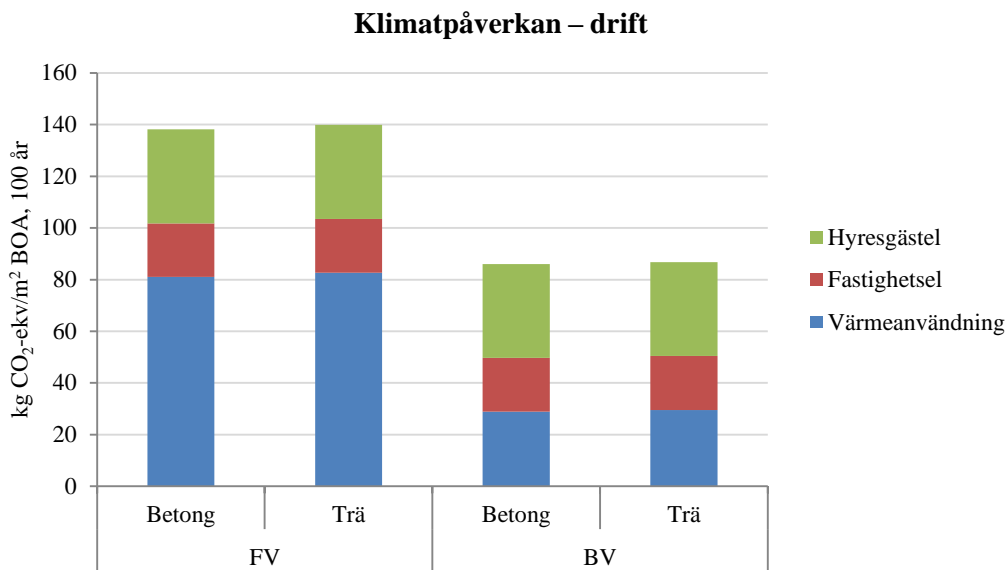
Enligt Plan- och bygglagen (2010:900) är de europeiska konstruktionsstandarderna gällande för krav på dimensionering av bärförmåga, stadga och beständighet. Byggherren beslutar sedan vilken livslängd som den aktuella byggnaden ska dimensioneras för. I Brf Viva har byggherren ställt krav på 100 års livslängd. Inkomna betongförslag är dimensionerade för 100 år medan massivträkonstruktionen, inkl den externa loftgången och balkongerna saknar motsvarande dimensionering. Utan är istället traditionellt dimensionerad för 50 år. Denna relativa skillnad gör att konstruktionerna egentligen inte är jämförbara. Vi ställs också inför frågan om man kan deklarera klimat- och energipåverkan för längre tid än den byggnaden bärighetsmässigt är dimensionerad för?

I massivträhusets scenario 1 har det antagits att massivträkonstruktionens stomme har 100 års livslängd. För loftgångar och balkonger antas att tätskikt och trätrall byts två gånger under byggnadens livslängd av 100 år. Under denna period antas också att limträpelarna i bärande stomme till både balkonger och loftgångar byts ut en gång och att limträfasaden byts 1,1 gång. Transporterna i samband med att nya delar transporteras från Bygdsiljum till Göteborg är inkluderat i utbytet.

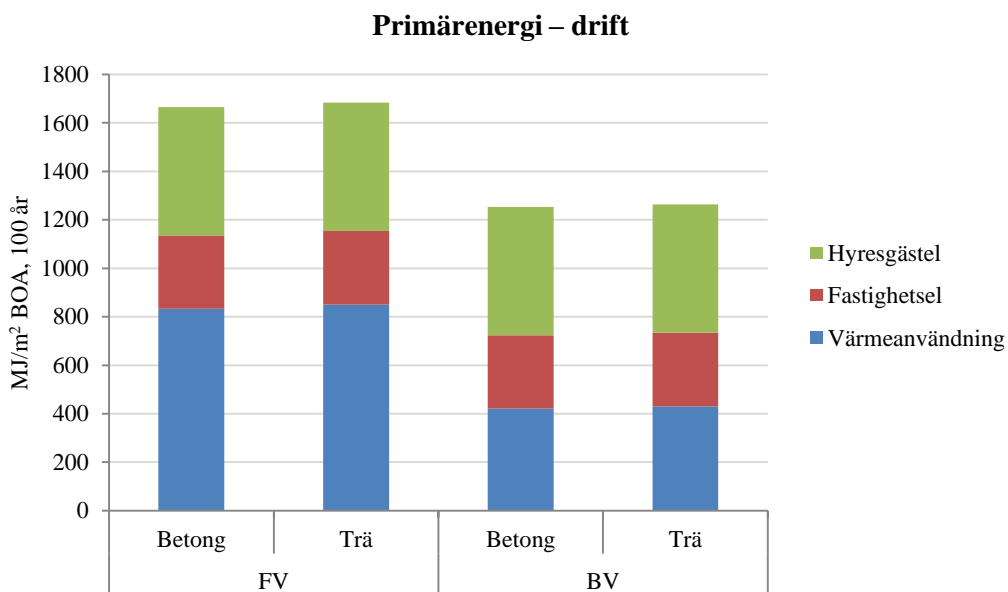
I massivträhusets scenario 2 antas stommens bärighet säkerställas genom underhåll och utbyte kopplat till ytterväggens beständighet enligt vad som redovisats under ytterväggens beständighet. Gummiduk med en livslängd på 25/30 år enligt EPD [23] används och samma livslängd för loftgångens och balkongens infästning i stommen.

### **Energianvändning (modul B6)**

I Brf Viva har energianvändningen varit ett av fokusområden dels för att bygga energieffektivt, dels för den påverkan energianvändningen har på Brf Vivas totala klimatpåverkan. I Energi gruppens interna rapport 2014-10-15 har sakkunniga från Riksbyggen, Göteborg Energi, Chalmers, Malmström Edström Arkitekter samt SP under ledning av Bengt Dahlgren AB i detalj analyserat och utvärderat olika alternativ. Energianvändningen i driftfasen är uppdelad i hyresgästel, fastighetsel samt värmeanvändning med fjärrvärme (FV) respektive bergvärme (BV). Beräkningarna är genomförda i IDA ICE av Bengt Dahlgren AB. Eftersom beräkningarna är genomförda i ett mycket tidigt skede innehåller de flera antaganden som är osäkra och ska inte ses som den slutliga energiprojekteringen för husen. Ett urval av resultaten framgår av Figur 3-4.



Figur 3 Klimatpåverkan för driftenergin under 100 år uppdelat per typ av energianvändning.



Figur 4 Primärenergi för driftenergin under 100 år uppdelat per typ av energianvändning.

Resultatet i figurerna 3 och 4 visar att användning av bergvärme ger både en mycket lägre energianvändning och en lägre klimatpåverkan i jämförelse med fjärrvärme.

Driftsfasen utgår från en livslängd på 100 år med bibehållen nybyggnadsprestanda. El kommer från vindkraft där data är hämtad från vattenfalls EPD som visar en klimatpåverkan på 16 g CO<sub>2</sub>/kWh och en primärenergi på 0,23 MJ/kWh. Det troligaste scenariot för uppvärmning antas vara med fjärrvärme (FV) och är det alternativet som har använts i livscykelanalysen. Fjärrvärmens är märkt Bra Miljöval och har en klimatpåverkan på 14 g CO<sub>2</sub>/kWh och en primärenergifaktor på 0,04. Uppvärmningsalternativet bergvärme (BV) är beräknat med en verkningsgrad på 3,2 kWh värme/kWh el och el från vindkraft. Brf Vivas totala energianvändning för alla hus per år uppdelat i fastighetsel, värmeanvändning samt hyresgästel ges i tabell 7. Där framgår det att betonghuset har en något lägre energianvändning på grund av dess förmåga att bättra

kunna lagra energi. Beredning av tappvarmvatten motsvarar 38 % av det totala värmebehovet.

Tabell 7 Uppskattad energianvändning per år och  $m^2 A_{temp}$  i Brf Viva med nybyggnadsprestanda.

Total energianvändning per år, för alla hus	Trästomme [kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]	Betongstomme [kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]
Fastighetsel	12	12
Värmeanvändning	54	53
Hysesgästel	21	21

### Prognosstyrning

Parallellt med LCA studierna har ett prognosstyrningsprojekt löpt där syftet har varit att visa effekten av att styra tillförseln av värme till en lägenhet i Brf Viva utifrån värmekällans miljöbelastning [24]. Data för fjärrvärme från Göteborgs Energi i form av dess miljöbelastning över tiden är använd för att styra värmeförseln till en mittenlägenhet i Brf Viva. Målet är att erhålla lägsta möjliga klimatpåverkan för uppvärmning samtidigt som den termiska komforten i lägenheten inte får äventyras. Studien är genomförd både för en lägenhet i betong och en i massivträ. Uppvärmningssätten har varit golvvärme respektive luftburen värme. Resultaten från studien visar att potentialen att minska CO<sub>2</sub>-belastningen för uppvärmning är mycket stor, speciellt om energikällans CO<sub>2</sub>-utsläpp per tillverkad kWh har stor variation över tiden. Sett ur ett bokföringsperspektiv (som motsvarar medelproduktionen) har variationen dock varit liten.

Eftersom det bara är en lägenhet som har studerats och den har betydligt lägre uppvärmningsbehov än hela huset och ett något annorlunda termiskt beteende är det svårt att överföra resultaten till hela brf. Viva. Därför redovisas resultaten separat i figur 5 och vi gör antagandet att hälften av besparingen kan tillgodoräknas i LCA:n eftersom det är tydligt att klimatpåverkan kan minskas genom att prognosstyra lägenheterna mot CO<sub>2</sub> utsläpp från energikällan, men inte hur mycket. Detta gäller för både betong- och massivträkonstruktionen.

Lägenhet	Energibesparing i procent	
	kWh/m <sup>2</sup> /år	gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /år
Betong, golvvärme	-7	-8
Betong, luftvärme	-11	-10
Trä, golvvärme	-3	-4
Trä, luftvärme	-6	-6

Figur 5 Potentiell reduktion av klimatpåverkan för uppvärmning genom prognosstyrning mot CO<sub>2</sub> belastning hos energikällan. I det här fallet för en mittenlägenhet i Brf Viva med fjärrvärmeuppvärmning från Göteborgs Energi (medelproduktionen under 2013).

### **Beständighetsscenario**

Klimatpåverkan under brukstiden relaterar till oförändrad energiprestanda under 100 år. Som diskuterats tidigare är lufttätheten en kritisk faktor kopplat till både energianvändningen och den byggfysikaliska funktionen. Detta framgår bl a av Garbo [25] som i sina exempel dels visat att energianvändningen vid halverad lufttäthet ökar, typiskt med 3-8 %. Lufttätheten hos stomalternativen beror delvis på antalet fogar kring fönster etc och där antar vi förenklat att alla stommarna måste underhållas likvärdigt.

#### Betongstommarna

Eftersom lufttätheten kan minska med tiden (Wahlgren m fl) [26] antas att energianvändningen ökar något efterhand. En ökning med 3 % antas under de sista 50 åren av prefab-husets livslängd. Det platsbyggnads alternativet antas inte försämrats alls [27] Den låga ökningen motiveras genom att det är svårt att se att dessa material som i sig säkerställer lufttätheten skulle försämrats om det inte rör sig om rena genomgripande skador, brand etc.

#### Massivträstommarna

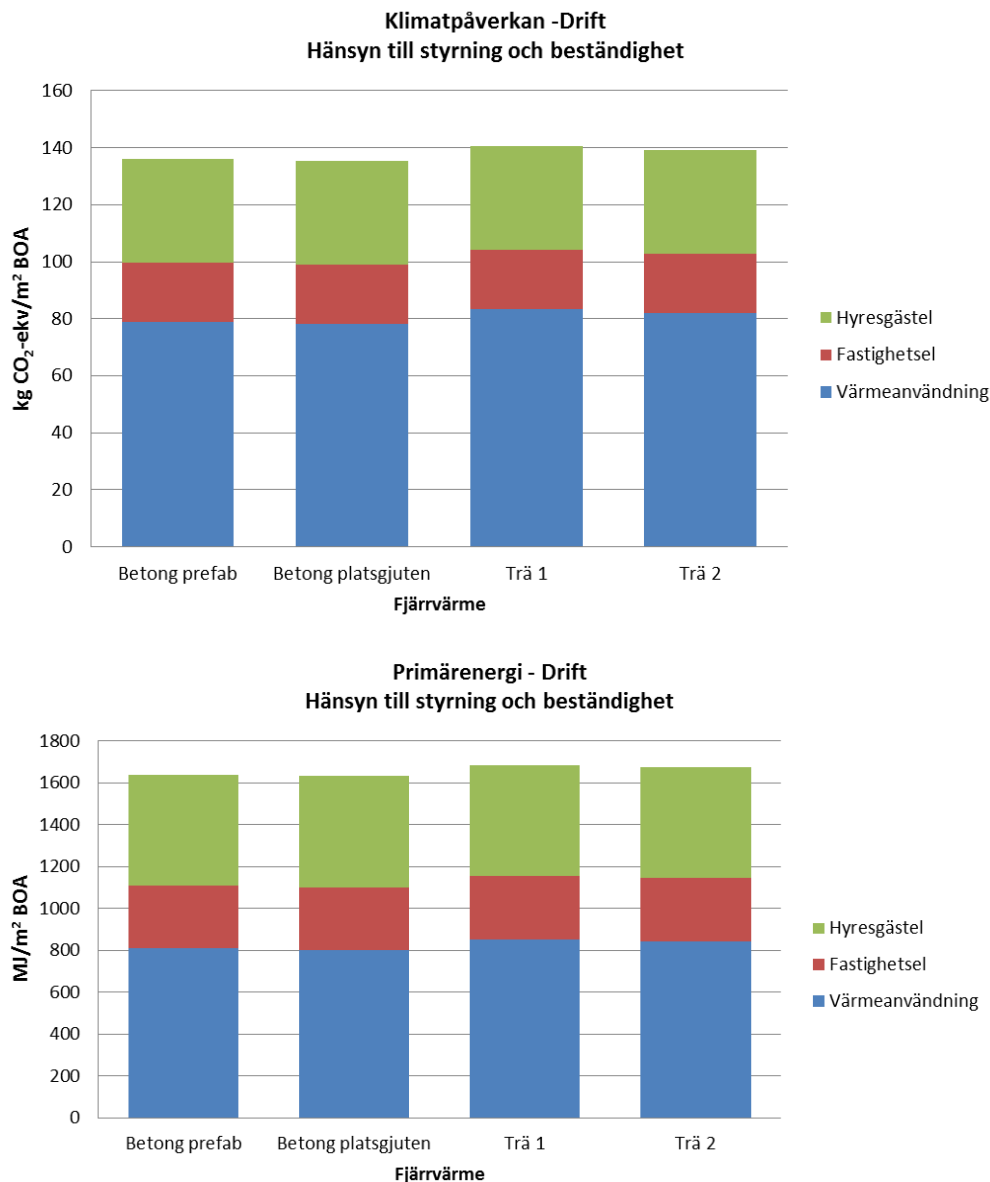
För massivträ i Brf Viva säkerställs en hög lufttäthet med användning av plastfolier, vars beständighet är begränsad framförallt i kombination med tejper och sammanfogningar [22].

I massivträscenario 1 antas att plastfoliens lufttäthet försämrats men att inga fukt- eller hälsoproblem uppstår. Energinvändningen har förenklat antagits att efter 30 år öka med 3 % och efter 60 år öka med 8 %.

I massivträscenario 2 utgår ifrån att plastfolien, enligt tidigare, byts ut efter 50 år. Därför antar vi 3 % ökning mellan åren 30 till 50 och mellan åren 80 och 100, vilket i slutändan motsvarar ungefär samma ökning som för det prefabricerade betongalternativet.

### **Effekten av potentiell prognosstyrning och beständighetsscenario**

Effekten av att ta hänsyn till en mindre klimatpåverkan på grund av prognosstyrning respektive en högre som följd av försämrad lufttäthet i byggnaderna är mycket liten. Förändringen sker bara för den delen som motsvarar uppvärmningen av byggnaderna vilket är knappt tre fjärdedelar av värmeanvändningen då varmvattenanvändningen är borträknad. Av den totala energianvändningen (exklusive hushållsel) står uppvärmningen för ungefär hälften. För träscenariorna är det ingen skillnad alls, för betongalternativen sjunker miljöpåverkan med ca 1 %. Primärenerginvändningen förändras i samma storleksordning. Se figur 6.



Figur 6 Klimatpåverkan under driften med hänsyn till den potentiella besparingen via prognosstyrning och den uppskattade ökningen på grund av försämrad täthet (över). Primärenergianvändningen under driften med hänsyn till den potentiella besparingen via prognosstyrning och den uppskattade ökningen på grund av försämrad täthet (under).

#### 4.2.5 Slutskede (modul C)

Energianvändning vid rivning är 51,5 MJ/m<sup>2</sup> BTA för det platsgjutna alternativet, 18,7 MJ/m<sup>2</sup> BTA för prefabricerad betong och 27,1 MJ/m<sup>2</sup> BTA för massivträalternativet enligt Björklund & Tillman (1997) [14]. Energin avser diesel.

Byggdelar och material säljs i befintligt tillstånd efter rivning. Det kan dock noteras att ett troligt fall kan vara att både cellplast och gummiduk förbränns. Ett sådant scenario skulle innebära att klimatpåverkan för modul C ökar med 6 kg CO<sub>2</sub>-eqv/m<sup>2</sup> BOA för betong alternativen som innehåller cellplast och med 9 respektive 18 kg CO<sub>2</sub>-eqv/m<sup>2</sup> BOA för de olika träscenariorna som innehåller gummiduk. Högst värde erhålls för Scenario 2 som är räknat på 4 st byten under 100 år.

## 5 Miljöpåverkansbedömning

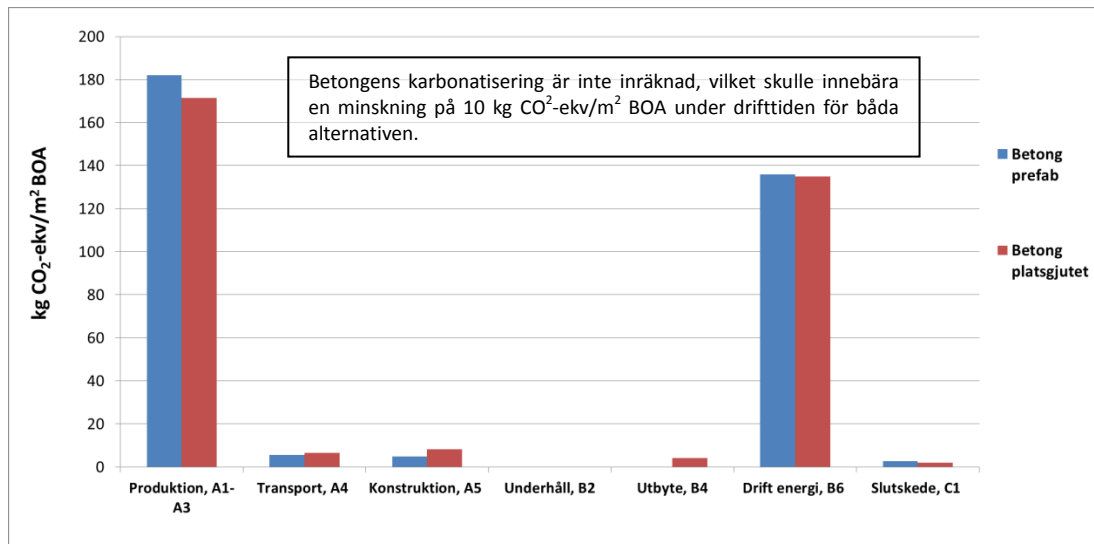
Eftersom LCA-analysen skett som en iterativ process där alla parter har haft möjlighet att komma med synpunkter och förslag till förändringar har resultaten ändrat sig under projektets gång. Resultaten i denna rapport ersätter därför tidigare kommunicerade resultat.

### 5.1 Resultat Betongstommarnas klimatpåverkan och energianvändning

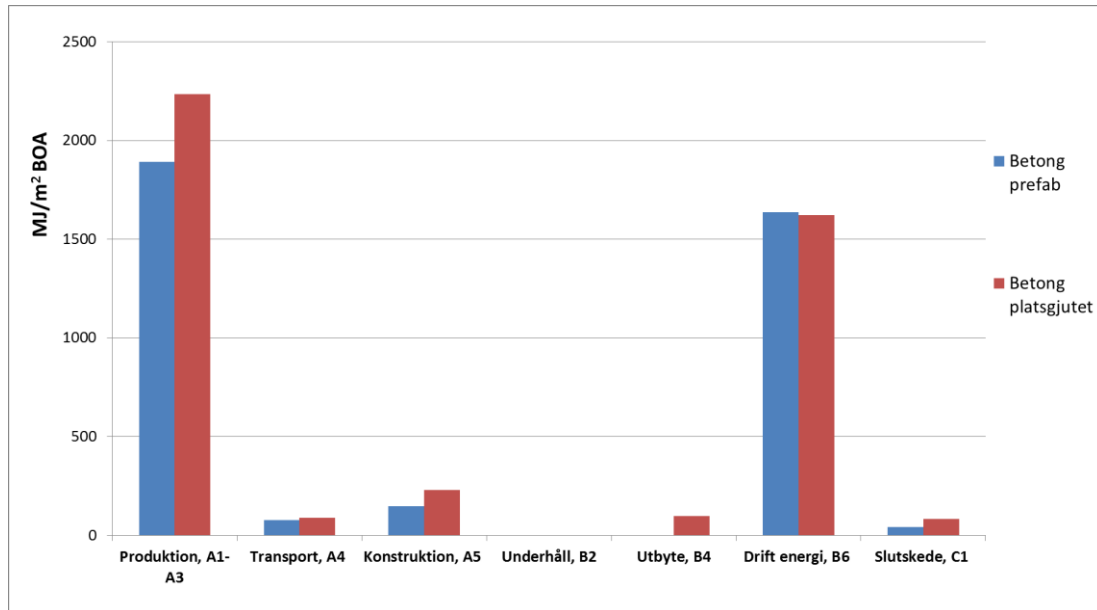
Figurerna 7 och 8 nedan visar betongstommarnas klimatpåverkan under 100 år. I figur 7 redovisas resultatet som kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA. Och för figur 8 redovisas resultatet som primäre energi i MJ/m<sup>2</sup> BOA. Primärenergien består av den totala energianvändningen av biogen och fossil energi som behövs under husets livscykel exklusive den energi som är bunden i byggmaterialen.

Även om det finns skillnader mellan alternativen så bedöms skillnaderna inte vara signifikanta kopplat till de osäkerheter som finns i arbetet.

För prefabricerade betongstommar varierar klimatpåverkan av faktisk returlast. Tom returlast skulle innebära ökade klimatutsläpp på mindre än 2 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA respektive mindre än 25 MJ/m<sup>2</sup> BOA. I figurerna syns resultaten då lastfyllnadsgraden för returtransporten är 100 %. Effekten av betongens karbonatisering är beräknad och innebär en minskad klimatpåverkan med 6% för båda betongfallen vilket motsvarar ca 10 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA.



Figur 7 Betongstommarnas klimatpåverkan under 100 år. För prefabricerade betongstommar varierar klimatpåverkan av faktisk returlast. Tom returlast skulle innebära ökade klimatutsläpp på mindre än 2 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA. I Figuren syns resultatet då lastfyllnadsgraden för returtransporten är 100 %. Effekten av karbonatiseringen är inte inräknad i staplarna men skulle innebära en minskad klimatpåverkan med 6 % eller 10 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA under drifttiden.



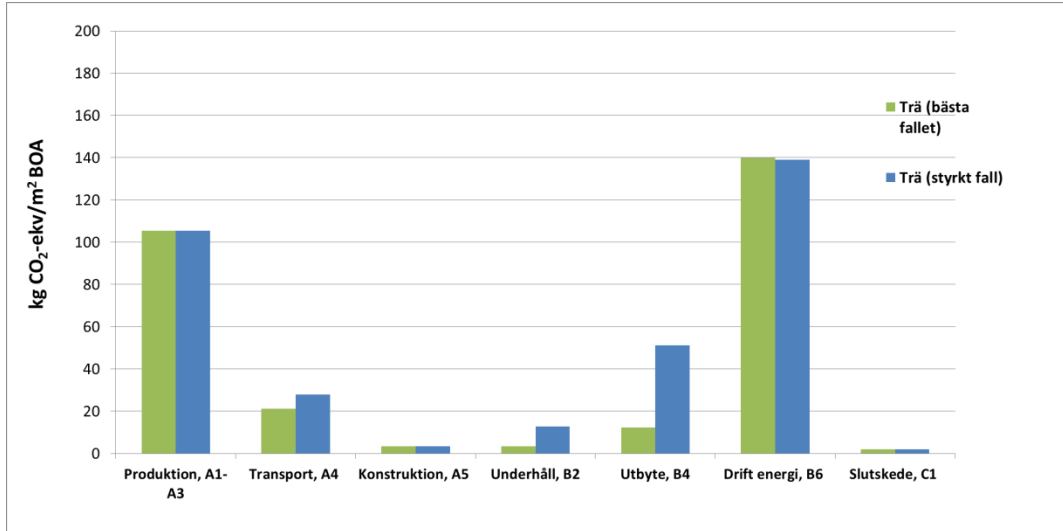
Figur 8 Stommens primärenergianvändning under 100 år. För prefabricerade betongstommar varierar klimatpåverkan av faktisk returlast. Tom returlast skulle innebära ökad energianvändning på mindre än 25 MJ/m<sup>2</sup> BOA.

För transporten ses en liten påverkan för betongalternativet trots tunga material. Anledningen är att aktuella betongfabriker ligger nära byggarbetsplatsen.

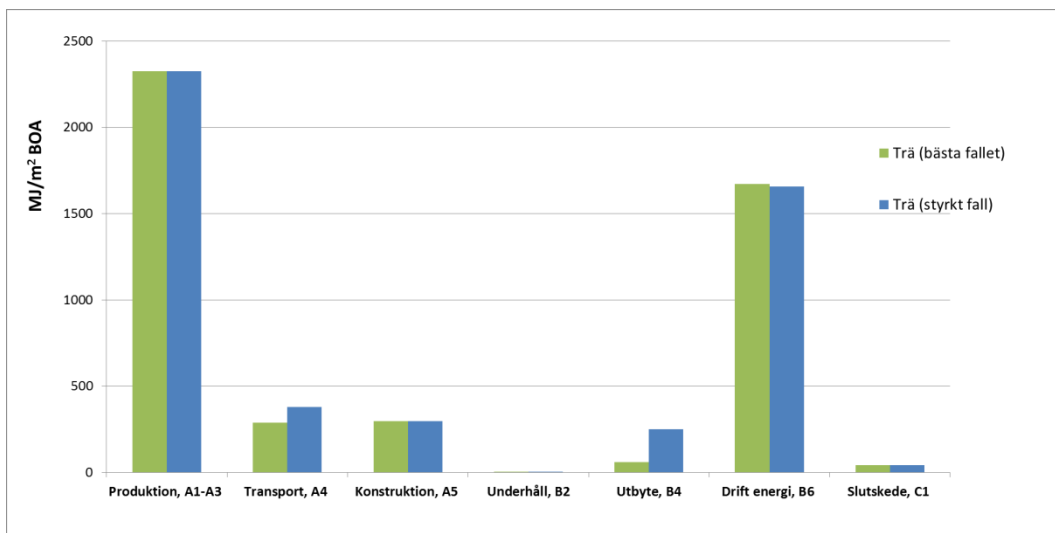
## 5.2 Resultat Massivträstommens klimatpåverkan och energianvändning

Figurerna 9 och 10 nedan visar de olika träscenariernas klimatpåverkan under 100 år. I den figur 9 redovisas resultatet som kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA. Och i figur 10 redovisas resultatet som primärenergi i MJ/m<sup>2</sup> BOA. Primärenergien består av den totala energianvändningen av biogen och fossil energi som behövs under husets livscykel exklusive den energi som är bunden i byggmaterialen.

En sammanställning över skillnaderna mellan de båda scenarierna återfinns i bilaga C.



Figur 9 Trästommens klimatpåverkan under 100 år. Redovisas både för scenario 1 som utgår ifrån leverantörernas egna information (bästa fallet) och Scenario 2 som utgår ifrån publicerad resultat och dokument (styrkt fall).



Figur 10 Stommens primärenergianvändning under 100 år. Redovisas både för scenario 1 som utgår ifrån leverantörernas egna information (bästa fallet) och Scenario 2 som utgår ifrån publicerad resultat och dokument (styrkt fall).

Resultatet i figur 9 visar att det största koldioxidutsläppet sker under driften av byggnaden. Resultatet visar även att transporten har en betydelse för trästommen främst på grund av det långa transportavståndet och med tanke på elementen som transporteras viktligt inte kan komma upp i en lastfyllnadsgrad på 100 %.

Resultatet för primärenergi, se figur 10, visar att till skillnad från klimatpåverkan så sker den största energianvändningen under byggskedet (A).

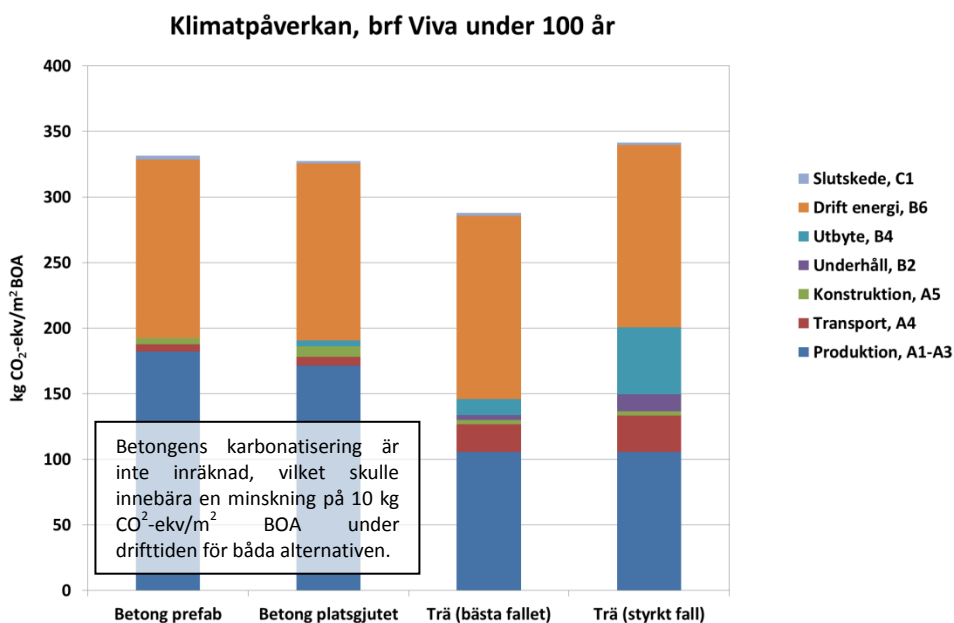
### 5.3 Jämförelse mellan stommateriellen

Figuren 11 och 12 nedan visar jämförelsen mellan de olika stommateriellen för analysperioden 100 år. I figur 11 redovisas resultatet som kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> BOA. Och i figur 12 redovisas resultatet som primärenergi i MJ/m<sup>2</sup> BOA. Primärenergien består av den

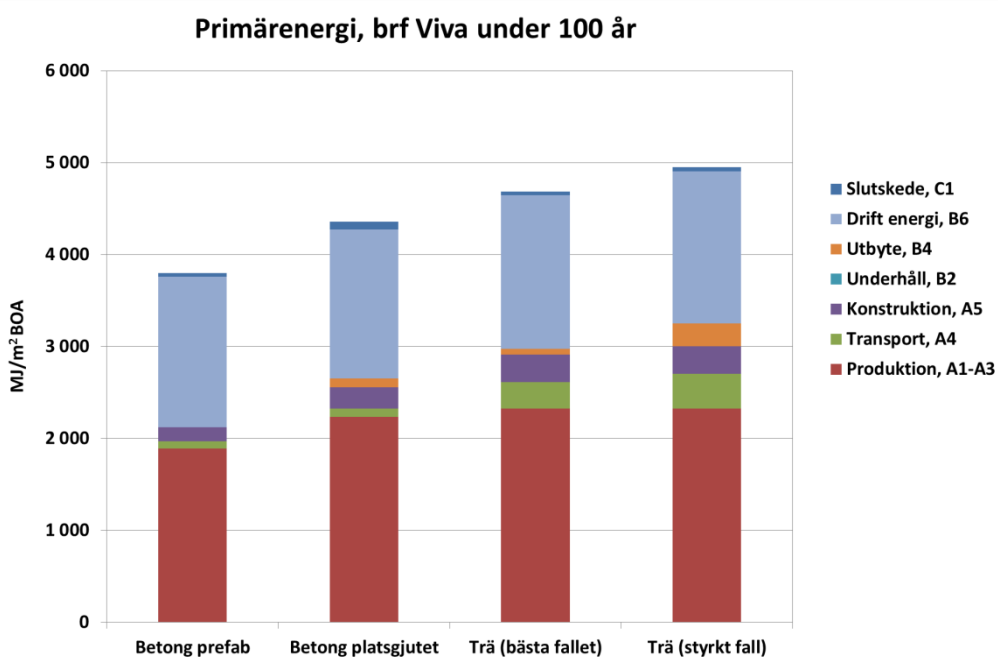


totala energianvändningen av biogen och fossil energi som behövs under husets livscykel exklusive den energi som är bunden i byggmaterialen.

I dessa figurer är betongalternativen räknade för att returtransporterna sker med en lastfyllnadsgrad på 100 %. Effekten av karbonatisering är heller inte med men bidrar till en minskad klimatpåverkan med 6 %.



Figur 11 Jämförelse mellan de tre olika stommarnas klimatpåverkan under 100 år. Träalternativet är uppdelat i scenario 1 som utgår ifrån leverantörernas egna information (bästa fallet) och scenario 2 som utgår ifrån publicerad resultat och dokument (styrkt fall).



Figur 12 Jämförelse mellan de tre olika stommarnas användning av primärenergi under livscykeln. Träalternativet är uppdelat i scenario 1 som utgår ifrån leverantörernas egna information (bästa fallet) och scenario 2 som utgår ifrån publicerad resultat och dokument (styrkt fall).

Aktiva val i byggfasen ger låg klimatpåverkan och energianvändning för betongalternativet och det finns ingen signifikant skillnad jämfört med massivträkonstruktionen med tanke på de osäkerheter som föreligger. Men det finns en signifikant skillnad mellan massivträhusets scenario 1 och 2. Detta visar att massivträhusets livslängd och funktion måste noggrant säkerställas i projekteringen för att inte ge både hög klimatpåverkan och hög energianvändning.

## 6 Slutsatser

I projektets redovisning under programskedet 2014 var resultatet att det inte var någon signifikant skillnad mellan de alternativ för stomme av massivträ, platsgjuten betong samt prefabricerad betong som föreslagits av tre kommersiella stomleverantörer för brf Viva. Detta gällde såväl för klimatpåverkan som för primärenergi i ett livscykelperspektiv. Detta resultat bekräftas av den här redovisade utökade studien.

Funktionsegenskaperna är ett viktigt beslutsunderlag för flerbostadshus. En vidareutveckling av funktionerna, beständighet, brand och energianvändning har därför gjorts. Detta utgår från prestandakrav i Boverkets byggregler, byggherrens krav på Miljöbyggnad Guld, 100 års livslängd samt klassificerade byggdelar och material enligt Sunda Hus.

För att hantera osäkerheter har scenarier definierats för massivträhuset. Scenario 1 utgår ifrån en mix av huvudsakligen leverantörsuppgifter men även styrkt dokumentation under förutsättning att inga byggfysikaliska problem uppstår under 100 år (bästa fallet). Scenario 2 utgår ifrån dokumenterad kunskap och deklARATIONER samt erfarenhet med utbyten efter 50 år (styrkt fall). Värsta fallet (scenario 3) utgörs då av beräkningar av att livslängden endast är 50 år, men det scenariot har inte beräknats.

Massivträhusets beräkningar är troligen undervärderade då relevanta klimat- och energidata för den nödvändiga brandskyddsfärgen saknas.

LCA-studien har inte inkluderat prestandakrav kopplat till ljud, fukt och hälsa. Betonghusen har tex dimensionerats för 100 år enligt beprövade standarder och erfarenheter. Det av Martinssons föreslagna massivträhuset har oklar dimensionering, ev bara 50 år. Dessutom har moderna energieffektiva ytterväggar av trä byggfysikaliskt nya och högre risker för fuktproblem än tidigare trähus.

100 års livslängd används i LCA beräkningen som en räknebas för att fördela miljöpåverkan under användningsfasen. Det är dock högst troligt att en byggnads stomkomplettering kommer att behövas bytas ut långt tidigare, exempelvis efter 50 år. Med stomkomplettering avses innerväggar, installationer, kök, badrum etc. I samband med det är det också troligt att vissa av byggnadens funktioner förändras. I vissa fall kan även andra delar som vindar och ytterväggar behövas bytas ut på grund av fuktproblem. De flesta förvaltare och bostadsrättsföreningar förutsätter dock att byggnadens stomme ska överleva en sådan reovering. Därför är det viktigt att stommens funktion bibehålls mycket längre än vad som normalt krävs av stomkompletteringen annars för det stora konsekvenser för bostadsrättsföreningen. En normal avskrivningstid för en byggnad i bostadsrättsförening är mellan 75 och 125 år.

Resultaten visar att vid jämförelser mellan olika alternativ, som i detta fall betong- och trästomme får man endast transparanta och relevanta resultat om man jämför vid samma prestandakrav under hela livscykeln. Studiens relativa jämförelsen mellan betong och massivträalternativen förändras inte om studiens resultat skulle omräknats till analystiden 50 år.

Resultaten visar även att;

- För betongbyggande är det avgörande att byggherren ställer krav på använda betonger och dess bindemedel.
- För massivträhus är det avgörande att byggherren ställer krav på att byggtekniken finns dokumenterad och säkerställd för längre användning än 50 år. Resultaten

visar också att det är fördelaktigt att välja leverantörer med korta transportavstånd.

- Variationen i det som byggs och de stora osäkerheter som finns gör att varje byggprojekt måste utvärderas individuellt och med specifika värden.

Riksbyggen har bl a utifrån förstudien valt att projektera och handla upp prefabricerad betong i huskropparna och platsgjuten betong i de undre delarna. Därför har detta projekt även specifikt vidareutvecklat betongens materialkrav i kontakt med Riksbyggen för att säkerställa en 100-årig beständighet.

Den upphandlade konstruktionen har vidareutvecklats och detaljprojekterats och är inte densamma som den som i använts i denna rapport. Däremot har Energimyndigheten genom E2B2 beviljat ett uppföljningsprojekt där bl a de faktiskt byggda betonghusen ska klimat- och energideklarerats samtidigt som de erfarenheter som nåtts i detta projekt kring upphandling av klimat- och energiriktigt betongbyggande ska spridas och användas brett.

## 7 Referenser

- [1] Kurkinen, E-L., Energi och klimateffektiva byggsystem med hjälp av Modellbaserad prognosstyrning – en tillämpning på projektet Positive footprint housing. Projektnr 37569-1. Sammanfattning av slutrapport Energimyndigheten 2015-10-30.
- [2] During, O., Miljövärdering av husstomme i trä jämfört med stomme i resurssnål betongteknik. Bygg&Teknik nr 7/2015.
- [3] Pressmeddelande dec 10 2015 Riksbyggen blir pionjärer med krav på ny klimatsmart betong. <https://www.riksbyggen.se/press-och-nyheter/#>
- [4] CEN 2013, Concrete – Specification, performance, production and conformity EN 206. European committee for standardization.
- [5] CEN 2011, Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements SS-EN 197-1. European committee for standardization.
- [6] ISO 14040, 2006. Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International organization for Standardisation.
- [7] CEN 2012, Sustainability of Construction Works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculations method EN 15978. European committee for standardisation.
- [8] CEN 2012, Sustainability of Construction Works – Environmental Product Declarations – Core rules for the product category of construction products EN 15804. European committee for standardization.
- [9] Peñaloza, D. (2015). Exploring climate impacts of timber buildings: The effects from including non-traditional aspects in life cycle impact assessment (Licentiate dissertation). Stockholm: KTH Royal Institute of Technology. ISSN 0349-5752.
- [10a] Røyne, F., Peñaloza, D., Sandin, G., Berlin, J. and Svanström, M. (2015). Climate impact assessment in LCAs of forest products: Implications of method choice for results and decision-making. *J. Clean. Prod.* 116: 90-99.
- [10b] Brandão, M., Levasseur, A., Kirschbaum, M., Weidema, B., Cowie, A., Jørgensen, S., Hauschild, M., Pennington, D. and Chomkhamri, K. (2013). Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 230-240.
- [10c] Peñaloza, D., Erlandsson, M. and Falk, A. (2016). Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings. *Construction and Building Materials* 125 (2016), pp 219-226.
- [10d] Lagerblad, B., Carbon dioxide uptake during concrete life cycle: state of the art, CBI Betonginstitutet, ISBN 91-976070-0-2, 2005.
- [11] Stripple, H., Life cycle assessment of road – A pilot study for inventory analysis, IVL Svenska Miljöinstitutet, 2001.

- [12] Byggvarudeklaration BVD3, Bjälklag, Prefabricerade bjälklag, Broelement, Strängbetong, 2007.
- [13] Nätverket för transport och miljö NTM, Environmental data for international cargo transport – Calculation methods and default data – mode-specific issues, 2008.
- [14] Björklund, T., Tillman, A., LCA of building frame structures. Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning. Report 1997:2, 1997.
- [14a] Erlandsson, M., Holm, D., Livslängdsdata samt återvinningsscenario för mer transparenta och jämförbara livscykelberäkningar för byggnader, NR B B2229, 2015.
- [15] Isaksson, T., Thelandersson, S., Brischke, C., Jermer, Jöran., Beständighet för utomhusträ ovan mark: Guide för utformning och materialval. Lund Universitet rapport TVBK-3066.
- [16] Sellén, M., Kurkinen, E-L., Beständighet för utomhusträ i Brf Viva. SP-rapport 2016:77.
- [17] Sandberg, K., Pousette, A., Karlsson, O., Sundqvist B., Fasader i trä för flervåningsbyggnader – Jämförelse mellan material och behandlingsmetoder. SP-rapport 2013:21.
- [18] Mundt-Pedersen, O., Moisture safety in Wood Frame Buildings. Doktorsavhandling Lund Universitet rapport TVBH 1021.2015.
- [19] Mundt-Pedersen, O., Tjockare väggar ökar fuktrisken,. Energi&Miljö Nr 3, Mars 2016.
- [20] Olsson, L., Hagentoft, C-E., Slagregnstäthet är viktigt vid riskbedömning av renoveringssystem och nya fasader. Bygg&Teknik nr 8/2015.
- [21] Sandberg, P-I. Moisture content and thermal conductivity in soil insulation. Journal of Building Physics.
- [22] Ylmén, P., Hansén, M., Romild, J. Beständighet hos lufttäthetslösningar. SP rapport 2012:57.
- [23] Environmental Product Declaration, Roofing and waterproofing membrane EVALASTIC® VSK, EVALASTIC® VGSK  
[https://alwitra.de/wp-content/uploads/2014/07/EPD\\_ALW\\_20140022\\_IBA1\\_EN1.pdf](https://alwitra.de/wp-content/uploads/2014/07/EPD_ALW_20140022_IBA1_EN1.pdf)
- [24] Karlsson, H., Kurkinen, E-L., Energi och klimateffektiva byggsystem med hjälp av Modellbaserad prognosstyrning. SP Rapport 2015:67.
- [25] Gar-Bo 2016., Täta hus – en rapport om varför och hur vi ska bygga lufttäta. Stockholm 2016-03-15.
- [26] Wahlgern, P., Hansén, M., Svensson, O., Lufttäthetens variation över året. SBUF rapport. Januari 2015.
- [27] Sikander, E., Ruud, S., Teknik- och systemlösningar för lågenergihus. En översikt. SP Rapport 2011:68

**Övriga referenser, personkontakter och ej publicerade dokument**

Johansson, H., Brandskyddslaget, personlig kontakt 2015-11-09 samt 2016-03-14.

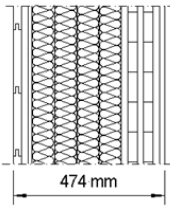
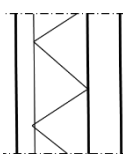
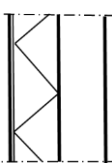
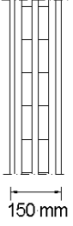


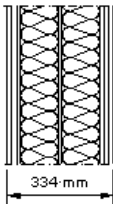


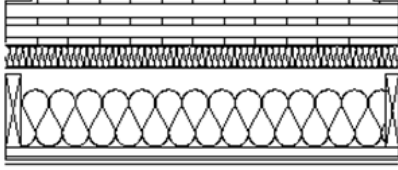
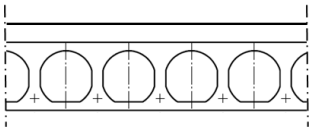
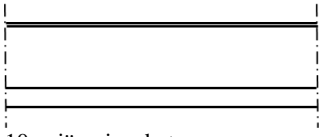
Bengt Dahlgren 2014., Energigruppens rapport 2014-10-15. Göteborg 2014-10-15.

Falk, A. Skivelementet som öppnar för nya flexibla möjligheter. Svenskt Trä, nr 3-2016, sidan 32.

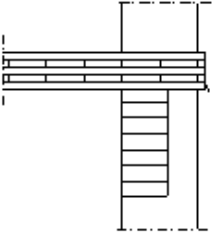
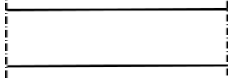
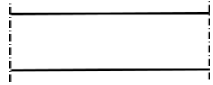
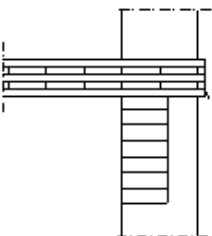
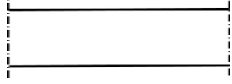
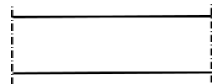
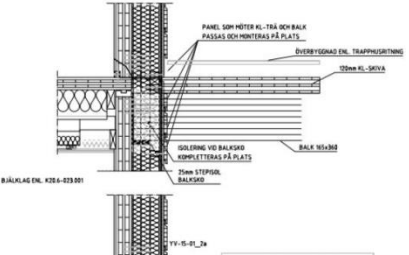
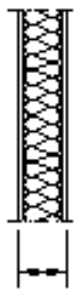
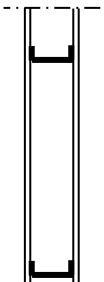
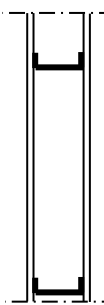
Nilsson Linnea, 2013, Dimensionering av loftgångsbalkar i trähus.

Martinsons, Redovisning av loftgångar på Sandåkern i Umeå, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:669049/FULLTEXT01.pdf>

## Bilaga A. Byggnadsdelar i analyserade byggsystem

Trästomme, KL-trä	Prefabricerad betongstomme	Platsgjuten betongstomme
<p>Yttervägg</p>  <p>25 limträpanel 22x70 träläkt cc 600 Vindskyddsväv 12x70 plywood cc 600 70 stenull, 28 kg/m<sup>3</sup> 45x145 regel cc 600 70+70 stenull 45x140x210 regel 70 stenull, 28 kg/m<sup>3</sup> 0,2 plastfolie 120 KL-trä 15 gipsskiva, GF</p> <p>U=0,12 W/m<sup>2</sup>K</p>	<p>Yttervägg</p>  <p>75 betong 250 EPS 150 betong Armering 10 kg/m<sup>2</sup></p> <p>U &lt; 0,12 W/m<sup>2</sup>K Exponeringsklass ≥XF1, och X0/XC1 vct ≤ 0,60</p>	<p>Yttervägg</p>  <p>20 puts 250 EPS 160 betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>U &lt; 0,12 Exponeringsklass XC1 vct ≤ 0,90</p>
<p>Innervägg, bärande</p>  <p>15 gipsskiva, GF 120 KL-trä 15 gipsskiva, GF</p>	<p>Innervägg, bärande</p>  <p>200 betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass ≥X0/XC1 vct ≤ 0,9</p>	<p>Innervägg, bärande</p>  <p>200 betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass XC0/XC1 vct ≤ 0,9</p>
<p>Lägenhetsskiljande vägg</p>  <p>2x15 gipsskiva, GF 12 plywood 120 stenull, 28 kg/m<sup>3</sup> 45x120 regel cc 600 10 luftspalt 45x120 regel cc 600 120 stenull, 28 kg/m<sup>3</sup> 12 plywood 2x15 gipsskiva, GF</p>	<p>Lägenhetsskiljande vägg</p>  <p>200 betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass ≥XC0/XC1 vct ≤ 0,9</p>	<p>Lägenhetsskiljande vägg</p>  <p>200 betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass XC0/XC1 vct ≤ 0,9</p>
<p>Mellanbjälklag</p>  <p>145 KL-trä 70 stenull, 28 kg/m<sup>3</sup> 45x220 regel 170 stenull, 28 kg/m<sup>3</sup> Läkt 28x70 cc 300 2x13 gipsskiva, GN</p>	<p>Mellanbjälklag</p>  <p>50 överbetong 200 håldäck Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass ≥XC1 vct ≤ 0,9</p>	<p>Mellanbjälklag</p>  <p>10 avjämningsbetong 200 konstruktionsbetong 50 prefabricerad betong Armering 12 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass XC1 vct ≤ 0,9</p>



Trästomme, KL-trä	Prefabricerad betongstomme	Platsgjuten betongstomme
<p>Loftgångsplatta</p>  <p>28 trätrall Gummiduk 120 KL-trä 115x270 limträbalk 190x225 limträpelare</p>	<p>Loftgångsplatta</p>  <p>160 betong</p> <p>Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass <math>\geq</math>XF3 vct <math>\leq</math> 0,55</p>	<p>Loftgångsplatta</p>  <p>160</p> <p>betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass <math>\geq</math>XF3 vct <math>\leq</math> 0,55</p>
<p>Balkongplatta</p>  <p>28 trätrall Gummiduk 120 KL-trä 115x270 limträbalk 190x225 limträpelare</p>	<p>Balkongplatta</p>  <p>160 betong</p> <p>Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass <math>\geq</math>XF3 vct <math>\leq</math> 0,55</p>	<p>Balkongplatta</p>  <p>160</p> <p>betong Armering 6 kg/m<sup>2</sup></p> <p>Exponeringsklass <math>\geq</math>XF3 vct <math>\leq</math> 0,55</p>
<p>Detaljösning infästning</p>  <p>BÄLKLAG ENL. K204-029/001</p> <p>PANEL SOM FÖTER KL-TRÄ OCH BALK PASSAS OCH MONTERAS PÅ PLATS</p> <p>ÖVERBYGGNAD ENL. TRÄPÄLSPÄTTNING</p> <p>ÖPPNA KL-SÄVA</p> <p>GULFRÄNS VID BÄLKLAG KOMPLETTERAS PÅ PLATS</p> <p>BALK NEDRE</p> <p>TÖM- OCH STÖPPL. BÄLKLAG</p> <p>TYV-10-01_2h</p>		
<p>Lättvägg</p>  <p>12,5 gipsskiva 70 stenull 45x70 träregel 12,5 gipsskiva</p> <p>96 mm</p>	<p>Lättvägg</p>  <p>12,5 gipsskiva 70 stålregel 12,5 gipsskiva</p>	<p>Lättvägg</p>  <p>12,5 gipsskiva 70 stålregel 12,5 gipsskiva</p>

## Bilaga B. Klimatpåverkan och primärenergi för alla material, aktiviteter och processer i studien

Material Transport Energi	Deklarerad enhet	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> - ekv/enhet]	Primärenergi [MJ/enhet]	Referens
<b>Produktion (A1–A3)</b>				
Gipsskiva	1 m <sup>2</sup> plaster board 12,5 mm thick	2,83	44,6	EPD Gyproc Normal – Standard Plasterboard. The International EPD® System EPD Nr. S-P-00388
Gipsskiva typ F	1 m <sup>2</sup> F- plaster board 15,4 mm thick	5,09	82,0	EPD Gyproc PROTECT F – Fire Board The International EPD® System EPD Nr. S-P-00389 (2013)
Stenull	1 m <sup>2</sup> of 37 mm thick stone wool	1,27	13,5	EPD Rockwool isolering, EPD nr 00131Erev1
Stål komponenter	1 kg	4,71	73,4	Ecoinvent 3,0 data med Svensk elmix Dataset: Steel, chromium steel 18/8 {RER}  steel production, converter, chromium steel 18/8   Alloc Def, S
Gummi EVALASTIC	1 m <sup>2</sup>	7,10	174	EPD EVALASTIC® VSK 1.2 mm, self-adhesive
PE komponenter (Plastfolie)	1 kg	2,62	77,3	Ecoinvent 3,0 data (HDPE granulate + Extrusion med 5 % förlust) Dataset: Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, U Extrusion, plastic film {RER}  production   Alloc Def, U
PP komponenter (Fästen för läkt rör)	1 kg	2,66	75,1	Ecoinvent 3,0 data (PP granulate + Extrusion med 5 % förlust) Dataset: Polypropylene, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, U Extrusion, plastic film {RER}  production   Alloc Def, U
Vindskyddsväv	1 kg	2,64	75,9	Ecoinvent 3,0 data (50 %PP + 50 % HDPE + Extrusion med 5 % förlust) Dataset: Polypropylene, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, U Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, U Extrusion, plastic film {RER}  production   Alloc Def, U
Sågat trä	1 kg	0,04	3,97	Miljöfakta om trä och träprodukter, Kontenta 0009032 (Träteck, 1999)
Plywood	1 kg	0,21	8,80	Miljödeklaration Vänerply Nr 9709079 (Träteck, 1997)
Limträ	1m <sup>3</sup>	45	3900	Byggvarudeklaration Martinsons trä Nr IVL BVD nr 2179 (baserad på PCR)
KL-trä	1m <sup>3</sup>	57	4240	Byggvarudeklaration Martinsons trä Nr. IVL BVD nr 2676 (baserad på PCR)

Material Transport Energi	Deklarerad enhet	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> - ekv/enhet]	Primärenergi [MJ/enhet]	Referens
Färg (Grundfärg)	1 kg	5,11	83,3	Ecoinvent 3,0 data med svensk elmix Dataset: Alkyd paint, white, without solvent, in 60 % solution state {RER}  alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60 % solution state   Alloc Def, S
Färg (Toppfärg)	1 kg	4,81	57,6	Ecoinvent 3,0 data med svensk elmix Ecoinvent 3,0 data med svensk elmix Dataset: Alkyd paint, white, without water, in 60 % solution state {RER}  alkyd paint production, white, water- based, product in 60 % solution state   Alloc Def, U
Betong prefab, innemiljö	1 m <sup>3</sup>	214,2	1680	Receipt enligt Strängbetong
Betong prefab, utemiljö	1 m <sup>3</sup>	242,1	1790	Receipt enligt Strängbetong
Betong prefab, håldäck	1 m <sup>3</sup>	260,2	1390	Receipt enligt Strängbetong
Betong prefab, C 25/30 (20 % flygaska)	1 m <sup>3</sup>	223,3	1610	Receipt enligt Betonghandboken
Betong platsgjuten, Innemiljö FBLC 50	1 m <sup>3</sup>	125,8	1692	Receipt enligt Thomas Betong Miljöcement + GGBS
Betong platsgjuten, C25/30 30%, slagg grund	1 m <sup>3</sup>	176,2	1591	Receipt enligt Betonghandboken
Betong C28/35, Plattbärlag	1 m <sup>3</sup>	213,2	2330	Receipt enligt Betonghandboken
CEM II/A-V 52.5 N	1 ton	668	2526	EPD Cementa Basement Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) EPD nr. EPD-HCG-20140205-CAA1- EN
CEM II B-S 52,5 N	1 ton	569	4218	EPD Cemex miljö The Norwegian EPD Foundation EPD nr. NEPD154N
Mald Granulerad Masugnsslagg, GGBS	1 ton	48,2	5530	Muntlig kommunikation Merox/SSAB
Superplasticerare	1 ton	770	17270	European Federation of Concrete Admixtures Associations. (2006). EFCA Environmental declaration – superplasticizing admixtures.
Accelerator	1 ton	1263	20200	European Federation of Concrete Admixtures Associations. (2005). EFCA Environmental declaration – accelerating admixtures.
Sand och grus	1 ton	1,8	22,1	LCA of road, Rapport B1210 IVL
Puts	1 kg	0,16	1,24	EPD weber.base KC 50/50, dry mortar
Isolering, EPS	1 m <sup>3</sup>	48,2	1394	EPD, EPS-Hartschaum Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) EPD nr. EPD-IVH-2009211-D
Armeringsstål	1 ton	360	7909	EPD Celsa The International EPD® System EPD nr. S-P-00305
Stålprofiler	1 m	2,41	0,17	EPD Norgips The Norwegian EPD Foundation EPD nr. NEPD 00171N

Material Transport Energi	Deklarerad enhet	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> - ekv/enhet]	Primärenergi [MJ/enhet]	Referens
<b>Byggarbetsplats (A4–A5)</b>				
Svensk elmix	1 kWh	0,062	8,76	Ecoinvent 3,0 data Dataset: Electricity, medium voltage {SE}  market for   Alloc Def, S
Transport, betongbil 6 m <sup>3</sup>	1 kgkm	1,18E-4	4,31E-3	Muntlig kommunikation med Scania
Transport betongelement, lastbil 50–60 t, 100 % tur	1 kgkm	3,78E-5	6,05E-4	Network for transport measures, NTM <a href="https://www.transportmeasures.org/">https://www.transportmeasures.org/</a>
Transport träbyggnaden, lastbil 34–40 t, 50 % tur	1 tkm	0,066	0,92	Network for transport measures, NTM <a href="https://www.transportmeasures.org/">https://www.transportmeasures.org/</a>
Energianvändning för konstruktion, prefab	1 m <sup>2</sup> BTA	3,8	126	[14] Avser el och diesel
Energianvändning för konstruktion, platsgjutet	1 m <sup>2</sup> BTA	5,8	231	[14] Avser el och diesel
Energianvändning för konstruktion, trä	1 m <sup>2</sup> BTA	1,5	221	[14] Avser el
<b>Användning (B1–B7)</b>				
Fjärrvärme	1 kWh	0,014	0,040	Göteborg Energi
El (vindkraft)	1 kWh	0,016	0,233	EPD Vattenfall vindkraft The International EPD® System EPD nr. S-P-00183
Färg (Grundfärg)	1 kg	5,11	83,3	Ecoinvent 3,0 data med svensk elmix Dataset: Alkyd paint, white, without solvent, in 60 % solution state {RER}  alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60 % solution state   Alloc Def, S
Färg (Toppfärg)	1 kg	4,81	57,6	Ecoinvent 3,0 data med svensk elmix Ecoinvent 3,0 data med svensk elmix Dataset: Alkyd paint, white, without water, in 60 % solution state {RER}  alkyd paint production, white, water-based, product in 60 % solution state   Alloc Def, U
<b>Slutskede (C1–C4)</b>				
Energianvändning för demolering, prefab	1 m <sup>2</sup> BTA	1,97	20,1	[14]
Energianvändning för demolering, platsgjutet	1 m <sup>2</sup> BTA	5,4	83,8	[14]
Energianvändning för demolering, trä	1 m <sup>2</sup> BTA	1,4	21,1	[14]

## Bilaga C. Sammanställning av skillnader för massivträkonstruktionens olika scenarier

	Scenario 1 (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> BOA)		Scenario 2 (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> BOA)	
	värde	kommentar	värde	kommentar
Transport A4	21,3	50% fyllnadsgrad och full retur	27,9	50% fyllnadsgrad och retur fylld till 2/3
Underhåll B2	3,5	Ommålning 6 ggr med toppfärg och 1,3 ggr med grundfärg	12,7	Ommålning 10 ggr med både grundfärg och toppfärg för att säkerställa brandskyddet
Utbyte B4	12,2	Fasadpanel byts 1,1 ggr, gummimatta och trätrall 2ggr och bärande stomme till balkonger och loftgångar byts en gång	51,2	För att säkerställa funktionen byts platsfolien och de delar av ytterväggen som blir berörda en gång (6,74). Fasadpanelen antas bytas 3 ggr (1,71). Ommålning med både topp och grundfärg sker 10 ggr (12,4). Pelare och balkar i anslutning till balkonger och loftgång byts 3 ggr (1,04). Balkong och loftgångsplatta byts 1 ggr (5,5). Gummiduken och trätrallen byts 3 ggr (24,6)
Drift B6	140	Är justerat för lufttätheter och prognosstyrning	139	Är justeras för lufttätheter och prognosstyrning. (Detta alternativ är något tätare)

### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

SP-koncernens vision är att vara en internationellt ledande innovationspartner. Våra 1 400 medarbetare, varav över hälften akademiker och cirka 380 med forskarutbildning, utgör en betydande kunskapsresurs. Vi utför årligen uppdrag åt fler än 10 000 kunder för att öka deras konkurrenskraft och bidra till hållbar utveckling. Uppdragen omfattar såväl tvärtekniska forsknings- och innovationsprojekt som marknadsnära insatser inom provning och certifiering. Våra sex affärsområden (IKT, Risk och Säkerhet, Energi, Transport, Samhällsbyggnad och Life Science) svarar mot samhällets och näringslivets behov och knyter samman koncernens tekniska enheter och dotterbolag. SP-koncernen omsätter ca 1,5 miljarder kronor och ägs av svenska staten via RISE Research Institutes of Sweden AB.



### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

SP Rapport 2015:70

ISBN dkdkd

ISSN 0284-5172

PART OF **RISE**