



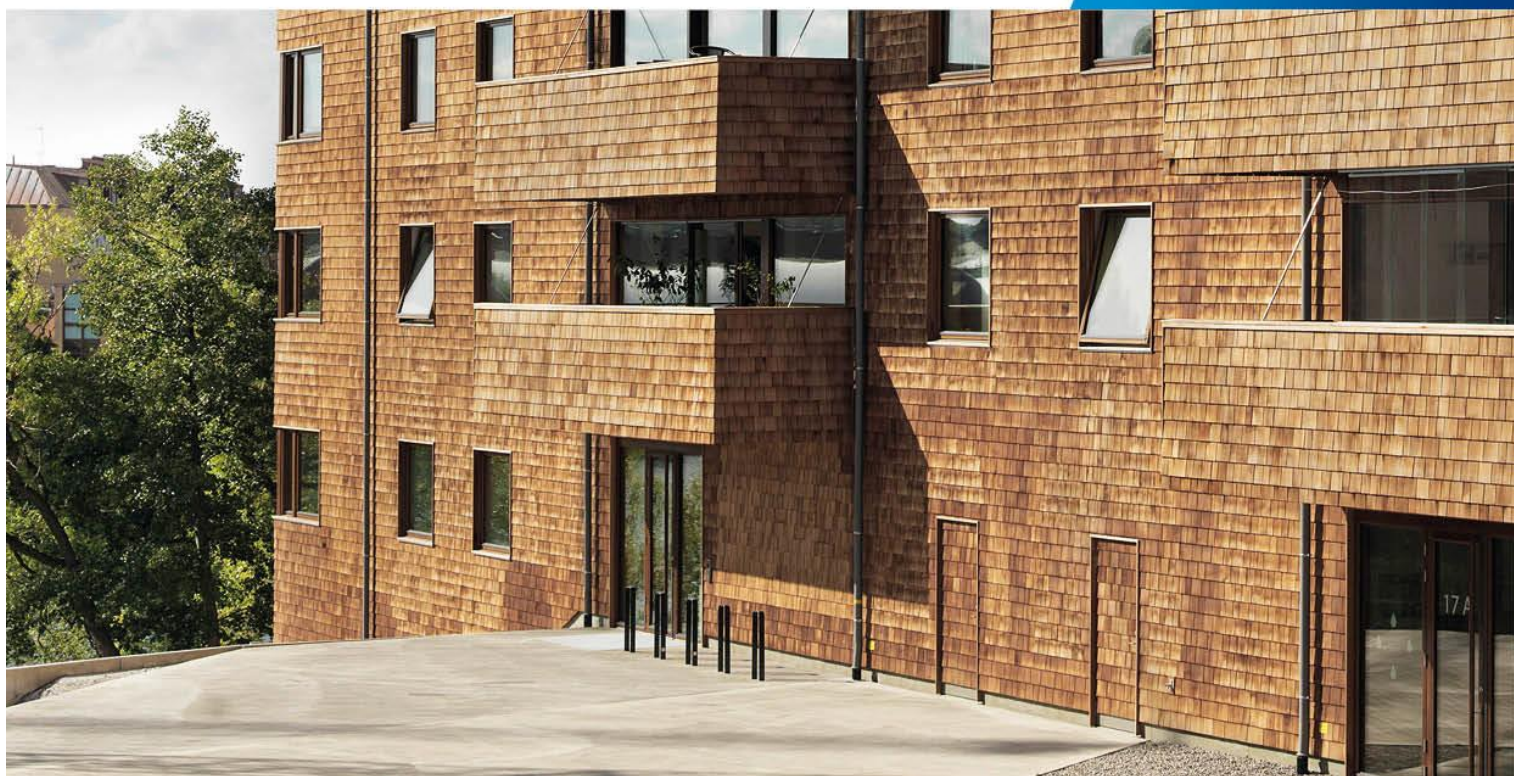
# Byggandets klimatpåverkan

LIVSCYKELBERÄKNING AV KLIMATPÅVERKAN FÖR ETT NYPRODUCERAT  
ENERGIEFFEKTIVT FLERBOSTADSHUS MED MASSIV STOMME AV TRÄ

Mathias Larsson, IVL, Martin Erlandsson, IVL, Tove Malmqvist, avdelningen för  
Miljöstrategisk analys (fms), KTH, och Johnny Kellner, Rikshem.



**SVERIGES  
BYGGINDUSTRIER**





## Förord

Föreliggande LCA- studie är en rapport från SBUF-projektet "Klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus med stomme av massivt trä innan driftsättning jämfört med driftsfasen".

Klimatpåverkan från byggnaders energianvändning är ett mycket diskuterat och relativt väl utforskat område. Klimatpåverkan från byggprocessen, inklusive tillverkning av byggmaterial, byggtransporter och produktionen på byggarbetsplatserna, är dock inte lika väl belyst. Under 2014 genomfördes en studie av klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv av ett lågenergihus med stomme i betong, Blå Jungfrun, av forskare på KTH och IVL. Den studien har starkt bidragit till att öka uppmärksamheten för byggprocessens klimatpåverkan. Det här projektet är en uppföljning av Blå Jungfrun-studien och här har forskare från IVL och KTH tillsammans med representanter från byggbranschen och en bred sammansatt styr- och referensgrupp, studerat klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv av ett hus med massiv trästomme.

Studien har omfattat ett åtta våningars flerbostadshus med massiv stomme av trä i kv. Strandparken i Sundbyberg med Folkhem som entreprenör och byggherre. Huset färdigställdes under 2013 och är det högsta flerbostadshuset med denna konstruktion i Sverige. Ansvariga för rapporten har varit Mathias Larsson, IVL, Martin Erlandsson, IVL, Tove Malmqvist, KTH (som också varit projektledare) samt Johnny Kellner, som representerade Rikshem.

Projektets styrgrupp har bestått av Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier, som varit både styr- och referensgruppens ordförande, Agneta Wannerström, Skanska, Larissa Strömberg, NCC, och Johnny Kellner, repr. Rikshem (adjungerade: Martin Erlandsson, IVL, Tove Malmqvist, KTH, och Mathias Larsson, IVL). Projektets referensgrupp har bestått av Magnus Ulaner, HSB Riksförbund, Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Robin Ljungar, Materialindustrierna, Thomas Sundén, Sustainable Innovation, Lisa Barthon, VVS-Fabrikanternas Råd, samt styrgruppen.

Syftet med studien har enbart varit att studera klimatpåverkan. Gruppen tar inte ställning till vilket materialval som är mest fördelaktigt. Olika stomtekniker för flerbostadshus kommer även i fortsättningen att behövas. Det är viktigt att understryka att projektgruppen inte heller tar ställning till olika materials övriga tekniska egenskaper såsom brand, buller, fukt samt möjlighet till effektreduktion. Inte heller har projektekonomi studerats. Syftet har enbart varit att lyfta frågan om byggprocessens klimatpåverkan för att öka förståelsen och kunskaperna hos byggsektorn, myndigheter och politiker. Tidigare har en motsvarande studie genomförts av kv. Blå Jungfrun i Hökarängen med stomme av betong. En förenklad, teoretisk jämförelse av klimatpåverkan har gjorts med detta projekt.

Projektet har finansierats med bidrag från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond), Regeringskansliet, SIVL (Stiftelsen IVL) samt deltagande organisationer och företag. Det är projektgruppens förhoppning att det faktaunderlag som nu redovisas om klimatpåverkan från byggandet ska leda till såväl fortsatt kunskaps- och metodutveckling som till att prioritera rätt åtgärder för att minska klimatpåverkan i alla led i byggprocessen.

Stockholm i april 2016

*Pär Åhman*

Ordförande i styr- och referensgrupp för projektet  
Sveriges Byggindustrier

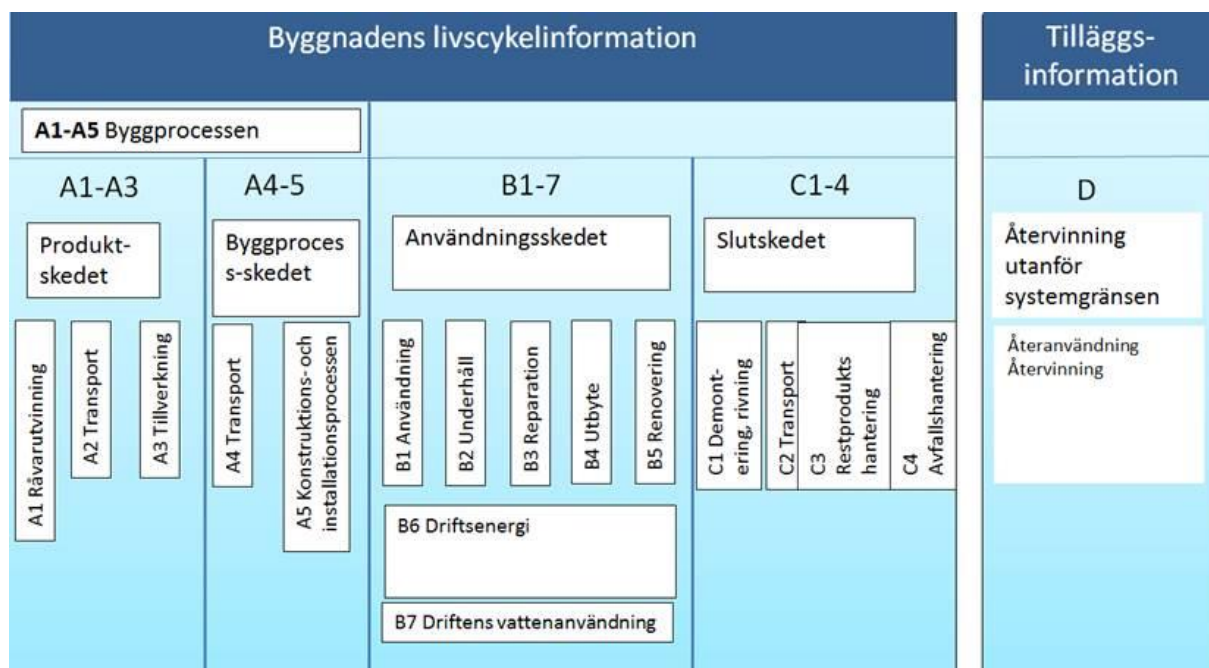
## Sammanfattning

Föreliggande rapport avrapporterar SBUF-projektet "Klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus med stomme av massivt trä innan driftsättning jämfört med driftsfasen".

Klimatpåverkan från byggnaders energianvändning är ett mycket diskuterat och relativt väl utforskat område. Klimatpåverkan från byggprocessen, inklusive tillverkning av byggmaterial, byggtransporter och produktionen på byggarbetsplatserna, är dock inte lika väl belyst. Under 2014 genomfördes en studie av klimatpåverkan i ett livscykelerspektiv av ett lågenergihus med stomme i betong, Blå Jungfrun, av forskare på KTH och IVL. Studien visade att byggprocessens klimatpåverkan låg i samma storleksordning som klimatpåverkan från driftens energianvändning, sett över en analysperiod på 50 år. Trots detta är det en fråga som knappt ens beaktas i byggandet och exempelvis hanterar Boverkets byggregler (BBR) enbart byggnaders energianvändning under drift och innehåller inga krav på klimatpåverkan från att bygga husen.

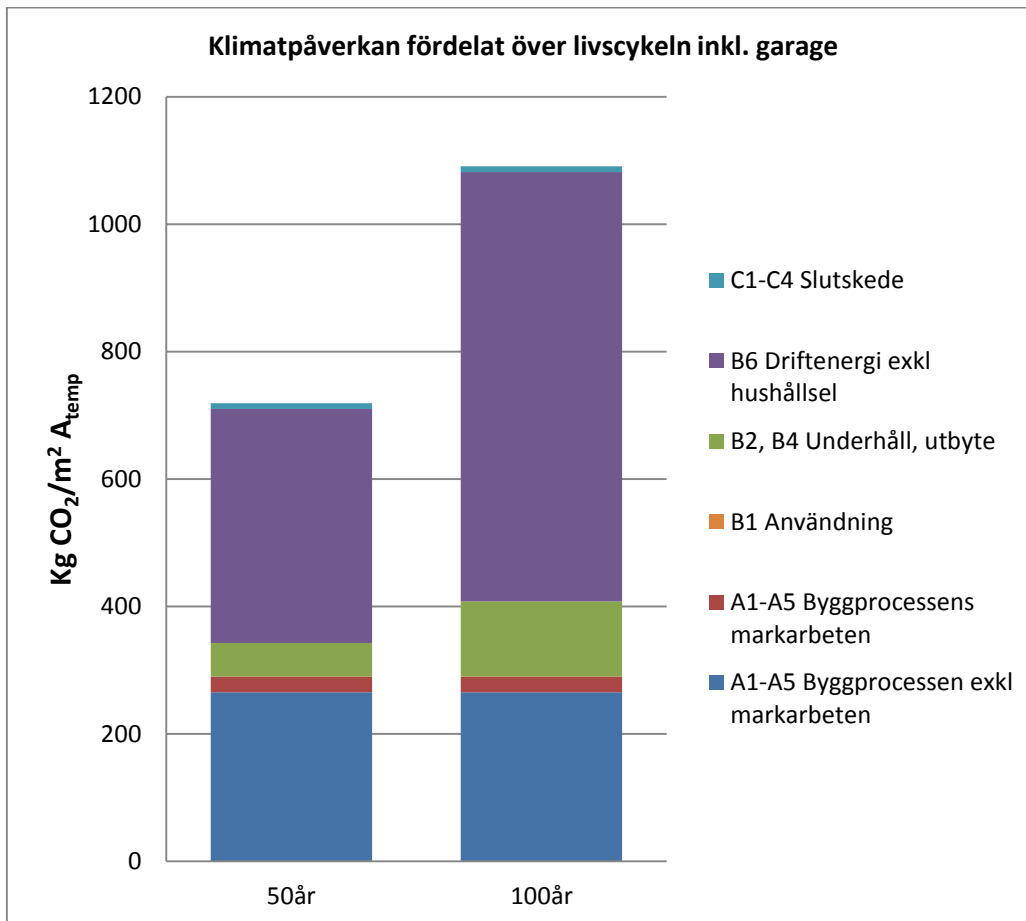
Det här projektet är en uppföljning av Blå Jungfrun-studien med syftet att studera klimatpåverkan i ett livscykelerspektiv av ett nybyggt flerbostadshus i flera våningar med stomme i massivträ. Den studerade byggnaden är ett av de två åttavåningshusen i kv. Strandparken i Sundbyberg med Folkhem som entreprenör och byggherre.

Den internationella standarden EN 15978 ligger till grund för beräkningarna av klimatpåverkan. Detta innebär att beräkningar utförs med s.k. bokförings-LCA. Enligt standarden ingår också alla delar av byggnadens livscykel (byggprocess, driftskede och slutskede) motsvarande modul A-C i standarden, se figur nedan.



Figur: Byggnadens livscykelkedan och informationsmoduler enligt EN 15978 (Benämningen Byggprocessen A1-5 återfinns inte i standarden men används här)

Strandparkens klimatpåverkan över livscykeln uppgår till drygt 700 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> för en analysperiod på 50 år och medelscenarier för driftens energianvändning och utbyte. Byggprocessen exklusive markarbeten står för 265 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, eller 38 procent av totala klimatpåverkan över en analysperiod på 50 år, se figur nedan. Byggprocessens klimatpåverkan är till stor del kopplat till produktion av materialen. Betong i grund, garage och källare är det material som står för störst andel av materialens klimatpåverkan, enbart fabriksbetongen står för 22%. KL-trä samt stenullsisolering i ytterväggarna står för ungefär lika stora andelar (7-8procent vardera). Många olika material bidrar därefter med jämstora mindre andelar.

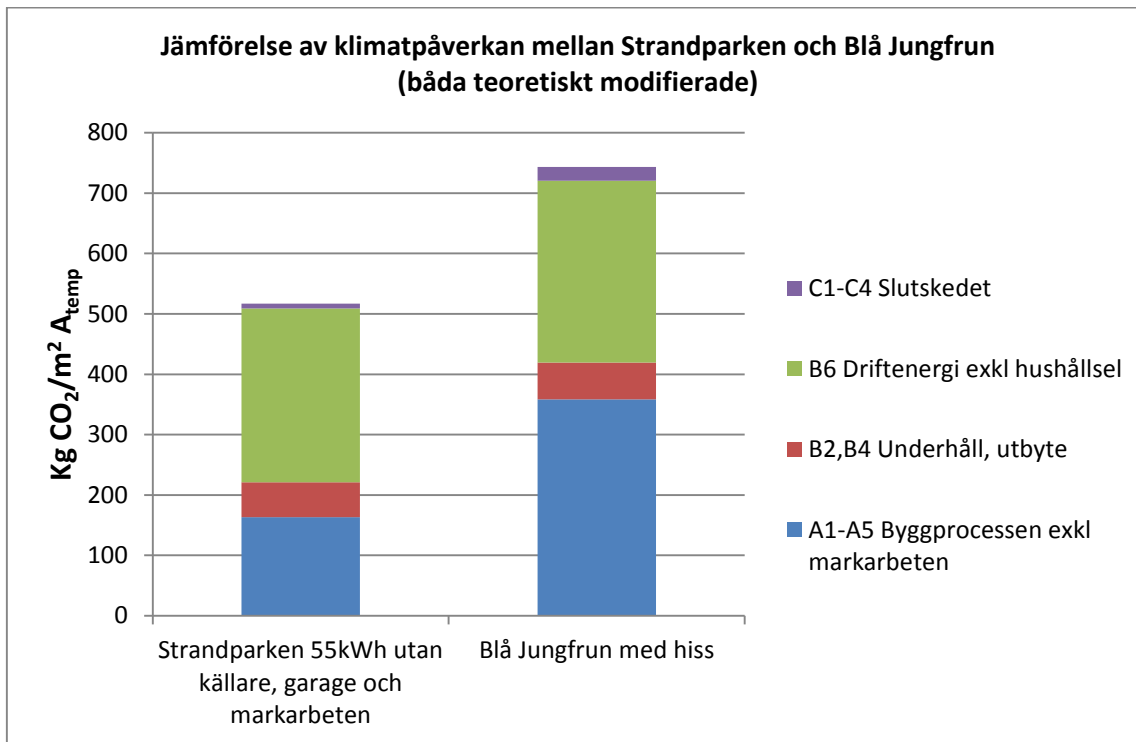


Figur: Klimatpåverkan (kg CO<sub>2</sub>ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>) för Strandparken fördelat på olika livscykelkedorna. Analysperiod 50 respektive 100 år. Energiscenario modul B6: 65kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, och år medel scenario, exklusive hushålls-el. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel.

I driftskedet ger energianvändningen stor klimatpåverkan men varierar stort beroende på val av el- och fjärrvärmemix. Med ett energiscenario med låg andel fossila bränslen står byggprocessen för 62procent av klimatpåverkan under en analysperiod om 50 år och exklusive hushållsel. På längre sikt kan det ses som ett sannolikt scenario, men fram till 2030 är prognosen att svensk fjärrvärme fortfarande innehåller fossila inslag inte minst från avfallsförbränning av plaster.

Studien visar också att det finns möjlighet att minska energibehovet till 55 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år utan att höja byggprocessens utsläpp av växthusgaser nämnvärt. Det vill säga, trots att både denna och den tidigare Blå Jungfrun-studien visar på att byggprocessens andel av klimatpåverkan över livscykeln idag är högre än vad man tidigare utgått från, är det inte något skäl till att inte genomföra långtgående energieffektiviseringar vid nybyggnad och reovering.

Byggnaden innehåller ett garage och källarvåning i betong vilket bidrar påtagligt till byggprocessens klimatpåverkan. Byggnaden kan teoretiskt byggas utan garage och källarvåning med platta på mark. Då minskas byggprocessens klimatpåverkan till 161 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Denna teoretiska utformning av Strandparken kan då, åtminstone förenklat, jämföras med det tidigare studerade flerbostadshuset Blå Jungfrun som inte hade garage och källarvåning. Observera att det enbart är klimatpåverkan som jämförs.



Figur: Jämförelse av klimatpåverkan mellan Strandparken och Blå Jungfrun. Energiscenario modul B6: medel, exklusive hushålls-el. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel för Strandparken.

Studien visar sammanfattningsvis att det är av vikt att beakta byggprocessens klimatpåverkan också i trähusbyggande. Det är av stor vikt att optimera materialval ur klimat- och resurssynpunkt, välja rätt material för rätt applikationer, använda material med lång livslängd och minska energianvändningen vid planering av nya hus. Att använda stomme av korslimmat trä ger lägre klimatpåverkan i förhållande till exempelvis den betongkonstruktion som användes i Blå Jungfrun. Men det är samtidigt viktigt att understryka att inga andra skillnader vad gäller exempelvis tekniska och funktionsmässiga egenskaper mellan de två husen Strandparken och Blå Jungfrun har studerats. Slutsatser kan alltså enbart dras för klimatpåverkan. Syftet har enbart varit att lyfta frågan om byggprocessens klimatpåverkan för att öka kunskapen hos byggsektorn, myndigheter och politiker.

# Innehållsförteckning

Förord .....	
Sammanfattning .....	
Innehållsförteckning .....	
1. Inledning .....	1
2. Bakgrund .....	2
2.1 Livscykelanalys .....	2
2.2 Livscykelanalyser av byggnader .....	3
2.3 Modulindelningen i beräkningsstandarden EN 15978 .....	4
2.4 Påverkanskategorier i livscykelanalys .....	6
2.4.1 Beräkning av klimatpåverkan .....	6
2.5 Begreppsdefinitioner .....	8
3. Beskrivning av Strandparken .....	9
4. Metodik .....	13
4.1 Inventeringsdata .....	13
4.1.1 Produktskedet (modul A1-A3) .....	13
4.1.2 Transporter till byggplatsen (modul A4) .....	14
4.1.3 Byggproduktionen (modul A5) .....	14
4.1.4 Användning (modul B1) .....	14
4.1.5 Underhåll och utbyte (modul B2 och B4) .....	14
4.1.6 Energianvändning i driftskedet (modul B6) .....	16
4.1.7 Byggnadens slutskede (modul C1-C4) .....	16
4.2 Tilläggsberäkningar för olika garageutföranden .....	19
4.3 Ändrade konstruktionslösningar för att uppnå förändrad energiprestanda .....	19
4.4 Underlag för miljödata .....	20
4.4.1 Miljödata för byggprocessen (modul A1-A5) .....	20
4.4.2 Miljödata för användning (modul B1) .....	20
4.4.3 Miljödata för underhåll och utbyte (modul B2 och B4) .....	20
4.4.4 Miljödata för driftenergi (modul B6) .....	21
4.4.5 Miljödata för slutskedet (modul C1-C4) .....	21
4.5 Metodmässiga skillnader mellan Strandparken och Blå Jungfrun .....	21
5. Resultat .....	23
5.1 Byggprocessens klimatpåverkan .....	23
5.2 Nedströms klimatpåverkan – utbyte och underhåll .....	27
5.3 Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln .....	29
5.4 Alternativa utföranden gällande garage och bottenplan .....	32
5.5 Alternativa utföranden med förändrad energiprestanda .....	32

6 Diskussion .....	33
6.1 Resultatdiskussion.....	33
6.2 Studiens begränsningar .....	33
6.3 Jämförelse med liknande studier .....	35
6.4 Andra aspekter på trähusbyggande med massiv stomme .....	38
7 Slutsatser .....	39
Referenser .....	41
Bilaga 1: Detaljer avseende inventeringsdata .....	45
Bilaga 2: Energianvändning under byggproduktionen, modul A5 .....	48
Bilaga 3: Karbonatisering av betong.....	49



# 1. Inledning

Sverige står liksom resten av världen inför stora utmaningar för en livskraftig planet (IPCC, 2013; Reid et al., 2010). Klimatförändringar till följd av mänsklig påverkan fortsätter öka i drastisk takt. En studie beställd av Boverket (2009) belyser att bygg- och fastighetssektorn står för en betydande del av Sveriges totala miljöpåverkan. Energianvändning, användning av miljö- och hälsofarliga kemiska produkter, avfallsgenerering, växthusgasutsläpp, humantoxiska utsläpp samt utsläpp av kväveoxider och partiklar är betydande (Toller et al., 2009). Enligt en rapport från IVA och Sveriges Byggindustrier (2014) uppskattades de årliga utsläppen av växthusgaser från byggprojekt vara i samma storleksordning som den totala personbilsflottan. Påverkan från fastighetssektorn kan komma att öka ännu mer de närmsta decennierna, då landet har ett stort underskott i bostäder och många av de befintliga byggnaderna är i behov av ombyggnad.

Än så länge har fokus legat på att minska klimatpåverkan från byggnaders driftsenergi (Brown et al., 2014; Erlandsson, 2014; Heinonen et al., 2012) och exempelvis ställer Boverkets byggregler enbart krav på maximal energianvändning för uppvärmning och fastighetsel. Allt fler studier visar nu att materialproduktion och byggprocess kan stå för en betydande andel av nya byggnaders klimatpåverkan sett över 50 år eller mer. Det finns stora potentiella möjligheter till att minska byggnaders miljöpåverkan om dessa aspekter tas med i planeringsprocessen (Ortiz et al., 2009; Zabalza Bribián et al., 2011). Intresset för detta börjar nu också visa sig hos beslutsfattare. Boverket genomförde på uppdrag av Regeringen under 2015 en kunskapssammanställning om klimatpåverkan för byggprocessen (Boverket, 2015a) och i skrivande stund utreder Boverket på eget initiativ förutsättningarna för att införa LCA-relaterade krav i de svenska byggreglerna. Det utreds också i andra europeiska länder och i Nederländerna finns krav på LCA-beräkning i de nationella byggreglerna. Det är därmed av stor vikt att öka kunskapen om byggnaders miljöpåverkan och skapa förutsättningar för förbättringsåtgärder redan i designskedet. En sådan utveckling inom bostadsbyggandet skulle resultera i mer långsiktigt hållbara lösningar med högre resurseffektivitet.

Detta projekt är en fortsättning av det tidigare SBUF-projektet B2217 "Byggandets Klimatpåverkan: Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong", av Liljenström m.fl. (2015). Målsättningen är därmed att få ytterligare ett transparent exempel på klimatpåverkan för nybyggda flerbostadshus, i detta fall för ett modernt flerbostadshus med massiv trästomme. Trähusbyggande har aktualiserats idag inte minst på grund av klimatdebatten och det är därmed av vikt att öka kunskapen om dess klimatpåverkan. Syftet med detta projekt är därmed att utföra en transparent livscykelbedömning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med stomme av korslimmat trä (KL-trä). Frågor som studien fokuserar på är:

- Hur stor är klimatpåverkan totalt för byggnaden och dess olika delar under dess livscykel?
- Vilka material/processer står för de största bidragen till klimatpåverkan?
- Hur stor del av klimatpåverkan står byggprocessen för jämfört med driftskedet sett ur en 50- och 100-års period?
- Hur påverkas klimatpåverkan över livscykeln för olika antaganden om energiprestanda under driften samt olika utföranden av garage?

Motivet har varit att få fram uppdaterade, vetenskapliga underlag för byggprocessens klimatpåverkan och utröna om denna påverkan står för en proportionellt större andel också vid byggande med massiv trästomme.

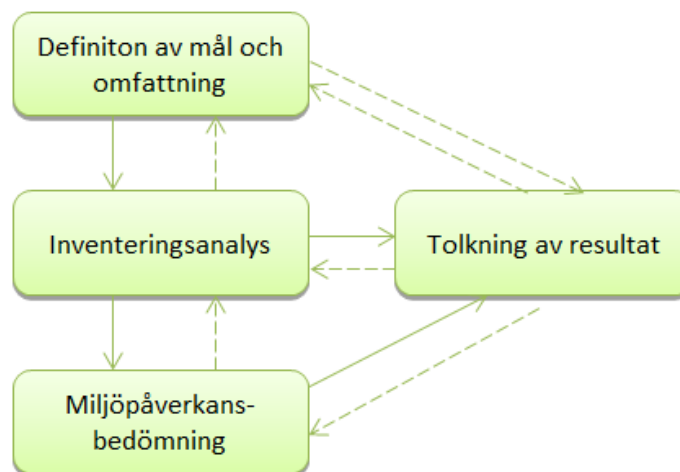
För att föregå att resultaten från de två SBUF-projekten analyseras på felaktigt sätt innehåller rapporten också en teoretisk jämförelse av Blå Jungfrun och Strandparken. Syftet är emellertid inte att ta ställning till en viss byggteknik t ex trä, betong, stål mm. Andra viktiga frågor som brand, fukt, effektreduktion, projektekonomi, andra miljöaspekter, etc. har därför inte beaktats. Men då flervåningshus i trästomme fortfarande av många betraktas som en förhållandevis ny byggteknik, kommenteras också ett antal av de aspekter på trähusbyggande som förekommer i debatten.

## 2. BAKGRUND

Detta kapitel innehåller en allmän beskrivning av LCA- metodik och beräkning av klimatpåverkan. Även en kortfattad beskrivning över den senaste standardiseringen för LCA av byggnader tas upp.

### 2.1 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är ett systemanalytiskt verktyg utvecklat för att bedöma miljöpåverkan för en produkt eller tjänst över hela dess livtid (Gunieé et al., 2002). Miljöbelastningar i form av emissioner och resursanvändning räknas med olika modeller om till bidrag till olika miljöpåverkanskategorier. Livscykelperspektivet i en LCA beskrivs ofta som en "från- vagg-till-grav"-analys. Det innebär att en LCA kan ge en helhetsbild som innefattar all miljöpåverkan som skett eller kommer att ske under den valda analysperioden. Livscykeln täcker alla steg från utvinning av resurser, produktion, transporter, användning samt avfallshantering. Den totala påverkan summeras från alla steg, vilket tillsammans utgör hela produktsystemet. Det är med andra ord en omfattande inventering som krävs, men direkt när miljöpåverkan är beräknad för exempelvis en byggprodukt, kan den enkelt "återanvändas" i andra studier där denna produkt ingår. En LCA omfattar flera aspekter på miljön, mänsklig hälsa samt resurser (ISO, 2006). En LCA delas enligt ISO 14044 in i fyra steg som genomförs i en iterativ process, se Figur 1. En kort beskrivning av de olika stegen ges nedan.



Figur 1 De fyra stegen i en LCA (ISO, 2006)

1. *Definition av mål och omfattning.* Målet är relaterat till studiens sammanhang, såsom varför studien görs och vem som kommer att använda resultatet. Omfattningen är relaterad till val som görs i modelleringen, såsom val av funktionell enhet, miljöpåverkanskategorier, systemgränser och krav på datakvalitet.
2. *Inventeringsanalys* (Livscykelinventering - LCI). Detta steg omfattar en beskrivning av de resurser som används i hela livscykeln och de utsläpp som sker till följd av resursanvändningen.
3. *Miljöpåverkansbedömning* (LCIA). I detta steg räknas miljöbelastningar dvs. utsläpp, markanvändning och resursanvändning om som bidrag till olika miljöpåverkanskategorier. Till exempel räknas utsläpp av koldioxid (CO<sub>2</sub>), metan, lustgas och så vidare om till klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter CO<sub>2</sub>e.
4. *Tolkning av resultatet.* Resultatet utvärderas i förhållande till mål, omfattning och avgränsningar så att slutsatser kan dras och rekommendationer ges. Tolkningen innehåller även känslighetsanalyser och värdering av de antagande som gjorts.

Ett antal metodval måste göras när en LCA tas fram. Dessa metodval kan ha en betydande inverkan på det slutliga resultatet. Enligt Bauman och Tillman (2004) är några av de viktigaste metodfrågorna val av funktionell enhet, val av systemgränser och typ av data som används. Eftersom dessa val beror på studiens omfattning, dvs. den fråga som ska besvaras, måste en skillnad göras mellan olika typer av LCA. En viktig distinktion att göra är den mellan *bokförings-LCA* och *konsekvens-LCA*. En bokförings-LCA syftar till att svara på frågor av typen "Vilken miljöpåverkan är förknippad med denna produkt", medan en konsekvens-LCA svarar på frågor av typen "Vad skulle hända om..?", genom modellering av effekter av ändringar i systemet (Baumann och Tillman, 2004). I detta projekt utförs bokförings-LCA. I de LCA-baserade miljödeklarationer (EPD) som görs och som kopplar till Byggproduktförordningen<sup>1</sup> tillämpas också bokförings-LCA. En av fördelarna med bokförings-LCA är att den ger ett verifierbart resultat.

I en LCA relateras miljöpåverkan till ett jämförbart mått med hänsyn tagen till den nytta produktsystemet levererar och beskrivs med en *funktionell enhet*. Till den funktionella enheten i en LCA finns ett referensflöde som alla in- och utflöden till systemet relateras till (vilket även ibland kallas Bill of Materials, BoM). När en LCA genomförs för en byggnad brukar en vanligt förekommande funktionell enhet vara miljöpåverkan fördelat per m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och en analysperiod på 50 år. Den funktionella enheten ska inte blandas ihop med en fullständig prestandabeskrivning där alla byggnadens prestanda är exakt likvärdiga såsom termiskt klimat, ljudförhållanden, tillgänglighet och livslängd. När LCA används för att jämföra byggnadsverk är det därför viktigt att alla de alternativ som utvärderas klarar de prestandakrav som anges av byggherren.

## 2.2 Livscykelanalyser av byggnader

Livscykelanalyser av byggnader är ingen ny företeelse och bland annat under 1990-talet utvecklades en rad miljöbedömningsverktyg för byggnader baserade på livscykelanalys i olika länder (IEA, 2001). Likaså har många fallstudier, likt denna studie, genomförts för enskilda byggnader redan för 15-20 år sedan. En svårighet har dock varit att beräkningarna utförts på olika sätt, till exempel med olika systemgränser. Vidare är det ofta otydligt hur mycket av byggnaden som inventerats samt vad som beaktats i de olika livscykelskedena. Detta har medfört att det har varit svårt att jämföra resultaten från olika livscykelanalyser av byggnader med varandra.

Sedan mitten av 2000-talet har därför ett standardiseringsarbete bedrivits inom de internationella och europeiska standardiseringsorganisationerna, ISO (international Organisation for Standardisation) respektive CEN (European Committee for Standardisation) för att finna ett mer enhetligt sätt att utföra dessa beräkningar (Erlandsson et al., 2013). De standarder som har tagits fram inom CEN betraktas idag i Europa allt mer som det accepterade sättet att genomföra beräkningar av miljöprestanda av byggnadsverk (EN 15978) och byggprodukter (EN15804). Till exempel har miljöbedömning i stort sett enligt EN 15978 integrerats i det tyska miljöcertifieringssystemet för byggnader DGNB som också används till exempel i Danmark.

Standarden EN 15804 som ger produktspecifika regler (PCR) för alla byggprodukter och -tjänster, omfattar även den energi som tillförs byggnaden under dess livslängd. Dessa regler ger en struktur som säkerställer att alla miljödeklarationer för byggprodukter, -tjänster och -processer tas fram och rapporteras på ett enhetligt sätt. EN 15804 utgår från motsvarande ISO-standard; ISO 21930 - Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products (ISO, 2007). I början av 2014 antogs en PCR (Product Category Rules) för byggnader inom systemet "EPD (Environmental Product Declaration) International" som specificerar regler som är förenliga med standarderna EN 15978 och EN 15804. Slutligen, parallellt med denna standardisering har utvecklingen av en generell metodik för produkters miljöfotavtryck tagit fart, PEF (Product Environmental Footprint) som skiljer sig en del metodmässigt mot de tidigare nämnda CEN- och ISO-standarderna. CEN:s arbetsgrupp TC 350 har nu ett förslag till nytt mandat att se över sina standarder för att om möjligt vara kompatibelt med vissa metodval som görs i PEF.

På grund av denna utveckling var det naturligt att i det tidigare SBUF-projektet (Liljenström m.fl, 2015 - Blå Jungfrun) i möjligaste mån följa metodiken i EN 15978 och EN15804. I den här studien har vi valt att arbeta på samma sätt.

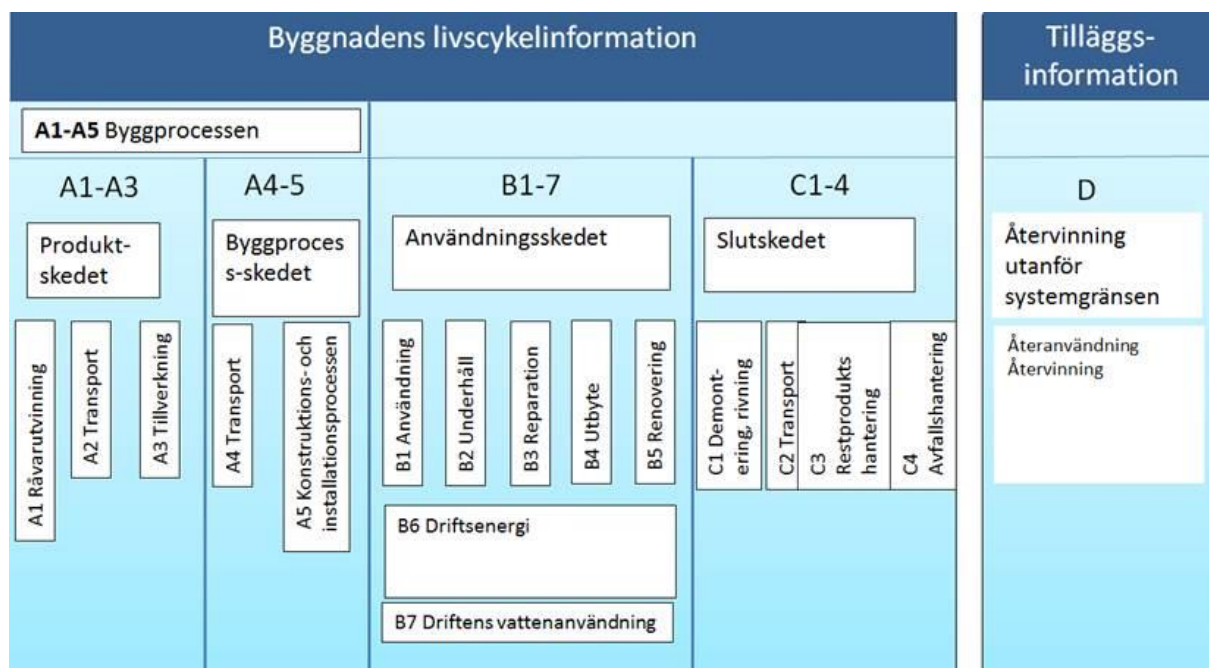
---

<sup>1</sup> Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 305/2011 av den 9 mars 2011 om fastställande av harmoniserade villkor för saluföring av byggprodukter och om upphävande av ► C1 rådets direktiv 89/106/EEG.

## 2.3 Modulindelningen i beräkningsstandarden EN 15978

I CEN-standarderna är byggnadens systemgränser uppdelade i så kallade livscykelkedor (A, B, C, D) som i sin tur är indelade i så kallade informationsmoduler (A1, A2..., B1, B2..., o.s.v.), se Figur 2. Modulerna A1 till C4 täcker den miljöpåverkan som är direkt relaterad till aktiviteter som sker inom byggnadens systemgräns och beskriver byggnadens livscykel enligt den så kallade modularitetsprincipen. Detta innebär att miljöpåverkan från varje modul redovisas separat. Modularitetsprincipen innebär också att processer som påverkar byggnadens miljöprestanda allokeras till den modul i vilken processen sker. Exempelvis kommer avfallshantering relaterat till det avfall som uppkommer vid renovering av byggnaden att allokeras till modul B5 (renovering).

Modul D är en separat, frivillig del som syftar till att beskriva konsekvenser som kan relateras till material- och energiåtervinning samt återanvändning utanför byggnadens systemgräns. Modul D kan och ska inte jämföras med eller läggas ihop med övriga moduler i bokförings-LCA.



Figur 2 Byggnadens livscykelkedor och informationsmoduler enligt EN 15978 (Benämningen Byggprocessen A1-A5 återfinns inte i standarden men är ett begrepp som används i denna rapport)

### **Produktskede (modul A1-3)**

Produktskedet (modul A1-3) ska enligt EN 15978 inkludera utvinning och bearbetning av råmaterial, bearbetning av material som återvinns från tidigare produktsystem, transport av råmaterial till tillverkare av byggprodukter, samt tillverkning av byggprodukter. I det här projektet redovisas inte modulerna A1, A2 och A3 separat, utan aggregeras. Detta förhållningssätt följer de europeiska standarderna EN 15804 och EN 15978.

### **Transport till byggarbetsplatsen (modul A4)**

Enligt EN 15978 ska denna modul inkludera transport av allt material och alla produkter från fabrik till byggarbetsplatsen, samt transport av arbetsmaskiner, kranar etc. Modulen ska också inkludera alla aktiviteter som relaterar till materialförlust under transporten, till exempel på grund av skador. Detta innebär att tillverkning, transport och avfallshantering av material som förloras under transporten allokeras till transportfasen.

### **Byggproduktion (Konstruktions- och installationsprocessen, modul A5)**

De aktiviteter som bör ingå i beräkningarna enligt standarden EN 15978 är; markarbeten, lagring av material, transporter av material, produkter, avfall och utrustning på själva byggarbetsplatsen, tillfälliga produktionsanläggningar, produktion och omvandling av material på byggarbetsplatsen, tillförsel av värme, kyla, ventilation etc. under byggprocessen, installation av produkter, vattenanvändning för att kyla maskiner och städa, transport och behandling av genererat avfall. Produktion och transporter av spillmaterial ligger också under denna modul.

### **Användning (modul B1)**

Påverkan från normal användning av byggnadens komponenter samt emissioner uppkomna vid byggnadens driftskede. I denna studie har vi enbart beräknat karbonatisering av betong översiktligt inom denna modul.

### **Underhåll (modul B2)**

Inkluderar planerat underhåll som krävs för byggnadens funktionalitet, till exempel målning och underhåll av slitna delar.

### **Reparation (modul B3)**

Inkluderar åtgärder som det typiskt inte planeras för under byggnadens livstid, till exempel åtgärder som måste genomföras till följd av en skada. Det är inte helt enkelt att skapa realistiska scenarier för reparation och av detta skäl ingår denna modul ofta inte i liknande fallstudier. Även i denna studie har modul B3 exkluderats.

### **Utbyte (modul B4)**

Inkluderar planerat byte av ett material, byggnadsdel eller installation mot en ny produkt, till exempel byte av alla fönster i huset. Om en byggnadsdel byts ut som en del av ett renoveringsprojekt redovisas detta under modul B5 och om en byggnadsdel byts ut för att den har blivit förstörd (till följd av olycka) redovisas detta under modul B3.

### **Renovering (modul B5)**

Innebär mycket omfattande åtgärder så att byggnadens ursprungliga prestanda uppnås igen, åtminstone för en betydande del av byggnaden. Modul B5 ingår långt ifrån alltid i LCA-analyser enligt standarden då en det är brukligt att välja en livslängd under vilken större renovering inte är aktuellt. I denna studie har modul B5 exkluderats, bl.a. då den viktigaste analysperioden är satt till 50 år.

Modulerna för underhåll, utbyte, reparation och renovering (B2-B5) inkluderar åtgärder som relaterar till både byggnadens inre och yttre delar. Den totala miljöbelastningen beräknas som summan av den miljöbelastning som uppstår vid produktion av det material och resurser som krävs för åtgärden, transport av detta till byggnaden, relaterade arbetsprocesser, och avfallshantering av överblivet material, trasiga produkter, etc.

### **Energianvändning i byggnadens driftskede (modul B6)**

Denna modul ska enligt EN15978, inkludera den energi som används för uppvärmning, varmvatten, luftkonditionering, ventilation, belysning och energi som används för hjälpsystem som pumpar och kontroll- och automatisering. Standarden fastslår inte att hushållsel måste ingå men att det tydligt ska framgå om hushållsel har inkluderats. I våra beräkningar är utgångspunkten att hushållsel inte ingår. Om så skulle vara fallet så står det uttryckligen i figurer, m.m.

### **Vattenanvändning i byggnadens driftskede (modul B7)**

I denna informationsmodul skall all vattenanvändning, dess för och efterbehandling redovisas. I denna studie ingår inte vattenanvändning i byggnadens driftskede.

### **Demontering och rivning (modul C1)**

Nedmontering av byggnaden och sortering av byggmaterial.

### **Transport (modul C2)**

Bortförsel av rivningsavfallet.

### **Restprodukthantering (modul C3)**

Avfallshantering för återvinning eller återanvändning. De uppberbningsprocesser som eventuellt krävs för att uppgradera materialet till säljbarhet eller förbränning.

### **Avfallshantering (modul C4)**

Hantering av deponiavfallet genererat från byggnaden.

Slutskedet (modul C1-C4) antas inträffa vid slutet av den valda analysperioden och hanterar då byggnaden inte längre används, rivs och platsen återställs.

## 2.4 Påverkanskategorier i livscykelanalys

En livscykelanalys innebär en helhetsbedömning avseende miljöpåverkan. Olika metoder har utvecklats för att modellera all typ av miljöpåverkan, ibland på olika sätt. Tabell 1 visar de miljöpåverkanskategorier som skall bedömas enligt standarden EN 15978. Utöver dessa miljöpåverkanskategorier skall även flera resurs-, avfall- och återvinningsindikatorer tas fram. Det finns inga begränsningar i att hantera fler miljöpåverkanskategorier i en LCA. För t.ex. processer som tar mycket mark i anspråk bör markanvändning och biodiversitet även utvärderas, i syfte att ge bättre helhetsbild av miljöpåverkan. Sådana allmänt accepterade metoder saknas dock idag.

I den här studien beräknas enbart klimatpåverkan. Det finns en risk med sådana studier att vidare användning av resultaten resulterar i problemförflyttning, dvs. att man missar viktig miljöpåverkan (Finnveden et al., 2009). Fortsatta studier inom andra påverkanskategorier är därför viktiga.

Tabell 1 Miljöpåverkanskategorier samt -indikatorer enligt EN 15978

Klimatpåverkan	kg CO <sub>2</sub> ekv.
Ozonuttunning	kg CFC 11 ekv.
Försurningspotential	kg SO <sub>2</sub> ekv.
Övergödningspotential	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv.
Bildning av marknära ozon	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv.
Abiotisk resurs förbrukning, mineraler	kg Sb ekv.
Abiotisk resurs förbrukning, fossila råvaror	MJ

### 2.4.1 Beräkning av klimatpåverkan

Standardförfarandet för att bedöma klimatpåverkan är att beskriva denna i kg fossila CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. När dessa koldioxidekvivalenter skall räknas samman integrerar man dess strålningseffekt, vanligtvis över en hundraårsperiod. Detta mått, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter räknat som *global warming potential* (GWP 100), används i denna studie och anger hur mycket värmestrålning absorption olika växthusgaser ger upphov till omsatt i koldioxidekvivalenter under 100 år framöver (enligt IPCC). De viktigaste klimatpåverkande gaserna är lustgas (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) och koldioxid (CO<sub>2</sub>) (IPCC, 2007). Utsläpp av växthusgaser inkluderar både förbränning av fossila bränslen vid olika processer för tillverkning av byggmaterial, elproduktion och maskinanvändning, samt processemissioner såsom den avgång av CO<sub>2</sub> som sker vid kalcinering av kalksten vid cementtillverkning.

Inte minst då det är ett trähus som analyseras i denna studie är det viktigt att klargöra hur biogent utsläpp och CO<sub>2</sub>-upptag hanteras i beräkningarna av klimatpåverkan. Det finns en viktig skillnad mellan s.k. biogen koldioxid och fossilt. Enligt USAs Naturvårdsverk lyder definitionen av biogent CO<sub>2</sub> utsläpp:

*”Biogena CO<sub>2</sub>- emissioner är definierade som CO<sub>2</sub>- emissioner bundna till den naturliga kolcykeln, inkluderat emissioner från förbränning, skörd, nedbrytning, jäsning eller behandling av biologiskt baserade material”.* Översatt från (US EPA, n.d.)

De fossila utsläppen ingår således inte i det naturliga biogena kretsloppet, utan leder till en ökad koncentration av koldioxid i atmosfären (IPCC 2013). De biogena koldioxidutsläppen är nödvändigtvis inte klimatneutrala utan koldioxidneutrala, då samma mängd utsläppt koldioxid anses ackumuleras åter i biomassa (Helin et al., 2013). I många ekosystem kan biogent kol dock anses klimatneutralt varför många livscykelanalyser inte beräknar biogena koldioxidutsläpp alls, utan bara sådant biogent kol som bidrar till en ökad climateffekt såsom metan (ex vid rötning, deponering mm). Förklaringen till detta är att de biogena utsläppen kvittas mot varandra sett över den biogena livscykel. Både utsläpp och upptag av biogent kol ses som likvärdiga (Helin et al., 2013).

I den europeiska standarden för byggprodukter, EN15804, ingår inte redovisning och rapportering av biogent kol utöver metan, etc. enligt ovan. I den kompletterande PCR-en för träprodukter (CEN, 2013) inkluderas emellertid upptag av biogent kol i skogen. Dessutom föreskriver dessa standarder att biogen och fossil koldioxid kan aggregeras. Det innebär att om enbart skede A, eller A och B redovisas för en träprodukt kan den till synes ha en positiv inverkan på klimatet (numeriskt negativ). Dvs. numeriskt negativa siffror kan uppstå om fossila koldioxidutsläpp kopplat till utvinning och produktion av produkten understiger det biogena koldioxidupptaget, se Tabell 2. Standarderna föreskriver visserligen att då en träprodukt når slutet av livscykeln och förbränns alternativt återvinns in i ett nytt produktsystem, räknas samma mängd bunden biogent kol frigöras igen. Det vill säga, när en hel livscykel beräknas med biogena utsläpp kommer bokföringen av lagringen av biogent kol att "rättas till", då summan av utsläppen blir noll.

Vid LCA av en hel byggnad kan problem uppstå om enbart modul A1-A5 (eller skede A och B) redovisas och fossil och biogen koldioxid aggregeras på så sätt som beskrivs ovan. Påföljden kan bli att det biogena koldioxidupptaget i produkterna ses som en minskning och lagring av fossil koldioxid (Hammond and Jones, 2011). Selincourt (2012) ser biogen kollagringsberäkning som ett kommande problem i byggbranschen, om företag redovisar biogent kolupptag blandat med fossilt kan negativa fossila utsläpp tillfälligt kompenseras med biogena vilket ger en falsk bild av klimatpåverkan, när klimatpåverkan bara redovisas för produkterna i A1-A3 eller för byggprocessen (modul A1-A5). Biogena kolflöden skall ses som inventeringsflöden och skall därför inte jämföras med fossila utsläpp. Inventeringsflöden bör alltid särredovisas från bidrag till olika miljöpåverkanskategorier. Produktstandard EN 15804 ställer dock i nuläget inget krav på att särredovisa biogent och fossilt koldioxidutsläpp, vilket däremot ISO CD 2 21930 gör (ISO, 2015). Om dessa utsläpp inte särredovisas medför det stor risk för förväxling av utsläpp respektive lagring av biogent och fossilt kol. Utsläpp av det biogena kolet skulle orsaka mindre förvirring om man hade ställt krav på särredovisning av biogena kolflöden, då det uppkommer som en minuspost i materialdelen A1-A3 för att senare räknas som ett utsläpp i modul C. Dessutom är det tveksamt att redovisa de biogena kolflödena som koldioxidekvivalenter, då denna metod inte är vetenskapligt korrekt utan borde betraktas som ett inventeringsresultat (Erlandsson et al., 2014). Tabell 2 visar schematiskt de olika sätten att bokföra. Alla tre sätten innebär att de totala emissionerna över hela byggnadens livscykel blir desamma men om inte slutskedet C redovisas kan man enligt alternativ 2 skenbart uppfatta att inga fossila koldioxidutsläpp sker alls. För att undvika missförstånd mellan de biogena och fossila koldioxidutsläppen redovisar vi i denna rapport de fossila och biogena utsläppen var för sig i enlighet med ISO CD2 21930 (ISO, 2015).

Tabell 2 Schematiskt exempel som visar på olika bokföringsprinciper av biogen koldioxid.

Livscykelskedan		1. Enligt EN 15804	2. Enligt PCR för trä-produkter	3. Enligt ISO 21930
A1-3	Fossilt	100 kg	-400 kg	100 kg
	Biogent	-		- 500 kg
C	Fossilt	10 kg	510 kg	10 kg
	Biogent	-		500 kg
Tot. Över livscykeln		110 kg	110 kg	110 kg

En annan aspekt som blivit omdiskuterad är frågan om karbonatisering av betongprodukter. Betong har en förmåga att reagera kemiskt med CO<sub>2</sub> i luften och binda denna i betongen. Storleken av karbonatiseringen är beroende av många faktorer, t.ex. tidsperiod och betongkonstruktionens exponering för luft. Karbonatiseringen beräknas enligt standarden prEN 16757 (2015) vilket har gjorts översiktligt i denna studie. Dessa beräkningar beaktar den karbonatisering som sker under det långa användningsskedet, skede B (modul B1). Den karbonatisering som sker i skede C är försumbar om betongen återvinns och stor om betongen inte återvinns.

## 2.5 Begreppsdefinitioner

För att dra slutsatser från en LCA av en byggnad förekommer idag ett antal olika begrepp som avser olika livscykelkedan för en byggnad. Modulindelningen enligt CEN-standarderna (Figur 2 och Tabell 3 nedan) är användbar för att tydliggöra vad som ingår respektive inte ingår i en LCA av en byggnad. Utöver det, används här ytterligare ett par begrepp på likartat sätt som i studien av Blå Jungfrun, vilket sammanfattas nedan.

Begreppet *uppströms* omfattar de aktiviteter som sker under själva byggprocessen (modul A1-5), dvs. innan byggnaden tas i drift. Till *nedströms* räknas de aktiviteter som sker efter det att byggnaden är färdigställd, dvs. drift av byggnaden samt rivning och därmed relaterad hantering av rivningsavfall (modul B och C), se Tabell 3. En anledning till att processerna delas upp på detta sätt är att det är relevant för byggtreprenörer vilka har direkt rådighet över uppströms processer (och utgör en central målgrupp för den här rapporten). Ett annat vanligt förekommande begrepp är *inbyggd påverkan* (eng. *embodied*). Detta begrepp används på olika sätt i litteraturen och kan inbegripa allt från enbart modul A1-3 till alla moduler utom modul B6 (Lutzkendorf and Balouktsi, 2013). Begreppet inbyggd påverkan används just för att betona alla de andra livscykelkedan i en byggnads livscykel som bidrar med miljöpåverkan utöver det skede som hittills fokuserats på, driftens energianvändning (modul B6). Genom goda, genomtänkta val i tidiga skeden kan man påverka den framtida miljöpåverkan i alla dessa skeden. Istället för att använda begreppet inbyggd påverkan i denna rapport, tydliggör vi hela tiden vilka moduler som räknats in när vi anger resultat.

Tabell 3 Innebörden av olika livscykelbegrepp

Begrepp	Byggprocess					Användningsskede							Slutskede			
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Uppströms	X	X	X	X	X											
Nedströms						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Driftsenergi											X					



### 3. Beskrivning av Strandparken

I denna studie har ett hus i BRF Strandparken beläget invid Bällstaviken i Sundbyberg, utanför Stockholm, utvärderats. Projektet omfattar två flerbostadshus med massiv stomme av trä, vilka var stadens första åttavåningshus byggda med en träkonstruktion. Exploateringsarbetena påbörjades 2011 och inflyttning i det första huset skedde i juni 2013. Det andra huset började monteras i november 2013 och inflyttning skedde i augusti 2014. Wingårdhs arkitekter ritade huset och byggherre och entreprenör var Folkhem. Folkhems strategi för denna (och andra flerbostadshusprojekt) var att så långt som möjligt använda trä. Detta avspeglar sig i att alla bjälklag och stommar ovanför källarvåningen är konstruerade i korslimmat trä (s.k KL-trä). Bottenplanet och garage är uppförda med prefabricerade betonelement.

Ett av de två trähusen i Strandparken analyseras i denna studie, Figur-3-4. Huset har 33 lägenheter med en uppvärmd yta  $A_{temp}$  på 3982 m<sup>2</sup>, garagearean är 704 m<sup>2</sup> och inrymmer 25 parkeringsplatser vilket motsvarar ett p-tal på 0,76 och byggnaden har en biutrymmesarea på 544 m<sup>2</sup>.



Figur 3 Tvärsektion samt relationshandling fasad söder och öster.

Husets grund är anlagd på packad sprängbotten och är pålad med borrarade stålörspålar. Huset ligger i en slänt ner mot Bällstaviken, och bland annat av detta skäl behövde en stödmur uppföras ovanför huset. Huset har källare med förvaringsutrymme och en lokaldel samt ett gemensamt garage som löper under mark längs med de båda trähusen i Strandparken. Ovanför källarens bjälklag ligger ett lager EPS-betong. Bärande konstruktioner, väggar och bjälklag ovanför garaget består av korslimmade träelement levererade av Martinsons<sup>2</sup>, se Figur 5 för bild på typ-mellanbjälklag. Ytterväggarna är isolerade med 210 mm stenull. Yttertaket är ett sadeltak med 48° lutning och har cederspån som taktäckningsmaterial. Även taket är uppbyggt av självbärande korslimmat virke. Både tak och fasader är täckta av Western Red Cedar-spån från British Columbia. Innerväggarna är klädda med gipsskivor för att uppfylla brandsäkerhetskrav.

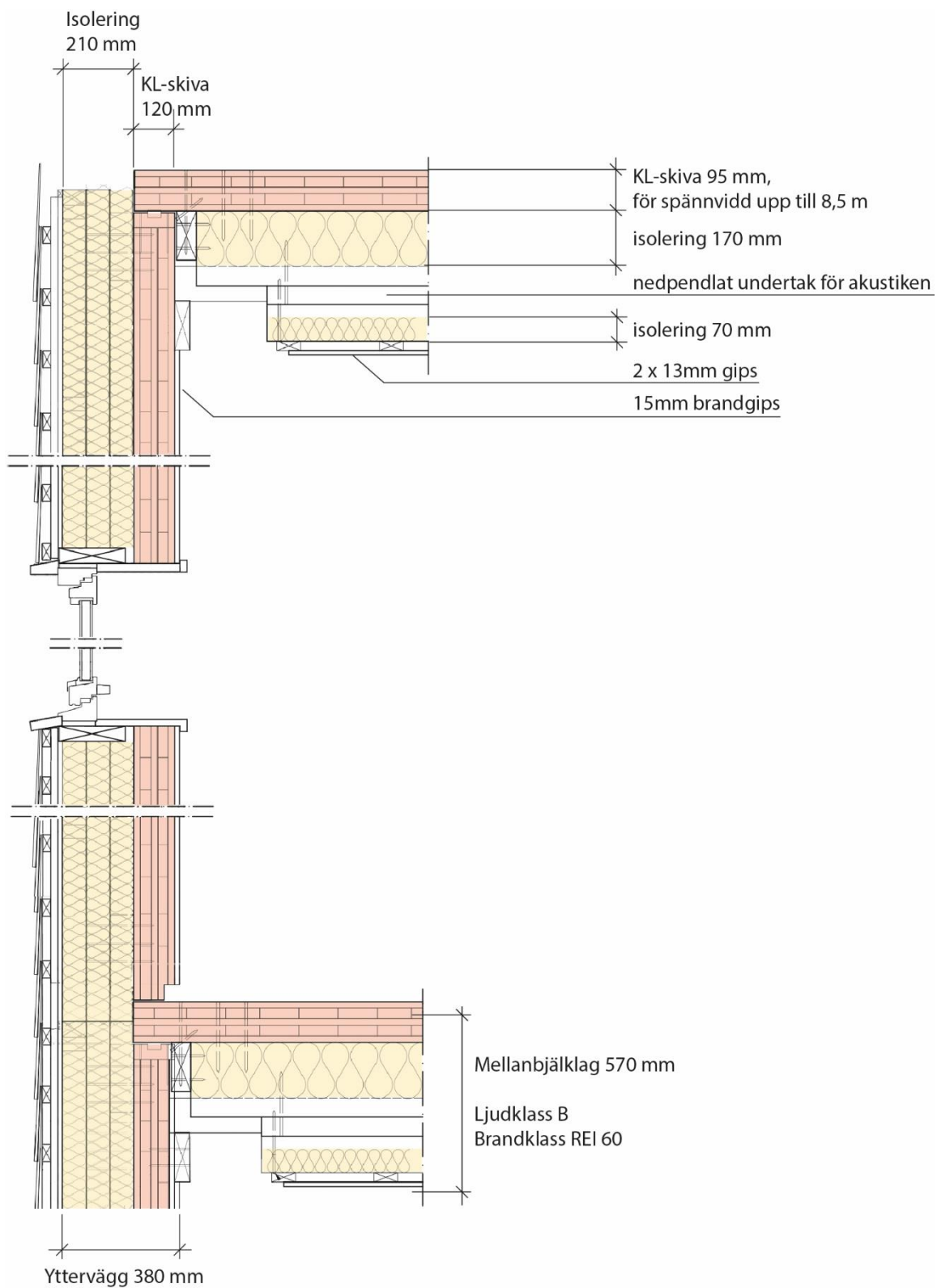
Projekterad energiprestanda enligt konstruktionshandlingarna uppgick till 75 kWh/m<sup>2</sup>  $A_{temp}$  och år inklusive energianvändning i garage och tappvarmvattenschablon enligt Sveby. Det vill säga ett värde som i det verkliga utfallet var tänkt att understiga normkravet enligt BBR 16 på 110 kWh/m<sup>2</sup>  $A_{temp}$  och år. Uppmätt justerad energianvändning är 65 kWh/m<sup>2</sup>  $A_{temp}$  och år inklusive garage där garaget står för 2 kWh/m<sup>2</sup>  $A_{temp}$  och år. Byggnaden värms med fjärrvärme som shuntas till vattenburen golvvärme. I alla våtrum finns el-golvvärme, och i våtrum med fönster också vattenburen golvvärme. Ventilationen är styrd från/tilluft och har ett FTX-aggregat med motströmsväxlare. Två hissar är installerade i byggnaden av märket Kone, typ Monospace. I huset är också trycksatt sprinkler installerad i alla lägenheter och trapphus. Huset är projekterat för att nå ljudklass B.

<sup>2</sup> <http://www.martinsons.se/>

För att förebygga fuktskador under produktionsprocessen är det vid trähusbyggande centralt med ett väderskydd. Uppförandet av stommen i kvarteret Strandparken skedde med en travers och i ett stort väderskydd, se Figur 6.



Figur 4 Relationshandling våningsplan 3-6.



Figur 5 Exempel på yttervägg och mellanbjälklag från Strandparken med massiva träkonstruktioner.



Figur 6: Vädskydd vid Strandparkens uppförande.

## 4. Metodik

Följande kapitel beskriver datainsamling, beräkningsmetoder (utöver det som beskrivits i kapitel 2), antaganden och LCA-data. Beräkningarna följer den europeiska standarden EN 15978 om inte annat anges. Liksom i det tidigare projektet om Blå Jungfrun (Liljenström et al, 2015) genomförs beräkningar för två analysperioder, 50 respektive 100 år. Beräkningsperioden är just en tänkt livscykel som beräkningarna görs för och är inte detsamma som förväntad livslängd. Men eftersom hus i regel förväntas ha en lång livslängd, vill man välja en lång analysperiod. Analysperioden behöver bestämmas för att scenarierna för användningsskedet (modul B) skall kunna modelleras. Ju längre analysperiod, desto mer osäkra blir dessa scenarier eftersom vi inte vet mycket om hur till exempel energimixer och produktionsmetoder kommer att utvecklas i framtiden. Det har därför blivit vanligt att använda en analysperiod på 50-60 år för den här typen av studier. Enligt en internationell sammanställning av 30-talet fallstudier utförd av Cabeza et al. (2014) är 50 år en vanligt förekommande analysperiod, i ca. 50 procent av de fallstudierna.

### 4.1 Inventeringsdata

Detta avsnitt beskriver inventeringsdata samt scenarier för material- och energiåtgång som ligger till grund för LCA-beräkningarna. Utförligare beskrivning återfinns i Bilaga 1 och 2. En översikt av vilka delar av byggnaden som ingår presenteras i Tabell 4 nedan.

Tabell 4 Beskrivning av vilka delar av byggnaden som ingår i inventeringen

Byggdela		Kommentar
Mark	X	
Bygg	X	
El	X	
Ventilation	X	
Rör	X	
It, reglersystem		Inte medtaget
Internkommunikation, rulltrappor, hiss	X	

#### 4.1.1 Produktskedet (modul A1-A3)

Modulerna för produkterna i A1 råmaterial, A2 transport och A3 produktion beräknas aggregerat, vilket följer förhållningssättet för de europeiska standarderna EN 15804 och EN 15978.

#### Byggnadsmaterial

Material i byggnaden var dokumenterat i kalkylberäkningsprogrammet BidCon, vilket till stora delar bestod av så kallade underentreprenörsposter, vilket inte beskriver vilka byggprodukter som ingår. Därför gjordes en kompletterande mängdning med hjälp av konstruktionsritningar i kalkylberäkningsprogrammet Sektionsdata. Installationsdelarna mättes separat. Dessa system var: rörledningar, el, golvvärmsystem, sprinkler, ventilation och hissar. Rörledningar, el och ventilation uppskattades vara likvärdiga i materialåtgång per kvadratmeter som i det tidigare SBUF-projektet (Liljenström m.fl, 2015). Sprinklersystemet och golvvärmen omsattes till materialmängder från ritningsunderlag samt leverantörsdata. Inga data fanns att tillgå för de installerade hissarna och tillhörande system från Kone utan materialmängder och tillverkningsenergi hämtades från Hydroware (2015) på hiss med likvärdig kapacitet.

#### Grundläggning och stödmur

Huset är grundlagt på borrade stålrörspålar som sedan fyllts med betong. Data för dessa pålar tillhandahålls av byggexploatören. Pålarna avslutas med en ovanliggande stödplatta av stål. Dimensioner på rör och plattor baseras på uppgifter från materialleverantören (Rukki, 2015).

För att stabilisera marken vid byggnaderna är en L-stödmur anlagd mot den närliggande kommunala gatan som angränsar mot flerbostadshusen. Mängden betong i stödmuren beräknades via konstruktionsritningar. Då funktionen av stödmuren delas på flera byggnader fördelades 23 m av muren till den studerade byggnaden, vilket är lika långt som garaget till byggnaden.

#### **4.1.2 Transporter till byggsplatsen (modul A4)**

I detta projekt inkluderas transporter av material till arbetsplatsen. Uppgifter på transport av maskiner till byggsplatsen samt godsskador ingår ej. Transportavstånden för materialen är fördefinierade i beräkningsmjukvaran Anavitor men för betong, kross, limträ och KL-trä används avstånden till de faktiska leverantörerna.

#### **4.1.3 Byggproduktionen (modul A5)**

Byggproduktionen delades upp i elåtgång, bränsleåtgång för maskiner, fordon samt produktion och avfallshantering av spill uppkommet på byggsplatsen.

Av underentreprenören tillhandahölls tidsplanen för markarbetena, som innehöll information om schaktning, bortförel av schaktmassor, pålning, grävningsarbeten för stödmur samt markanläggning för fjärrvärme och elservice. Tidsåtgången för maskiner samt maskintyp gavs sedan av markkalkylprogrammet KP-kalkyl. För detaljer på anläggningsmaskiner som ingår i beräkningarna, se Bilaga 1. Informationen på de operationer som utförts av anläggningsmaskiner är inte helt kompletta men syftar till att ge en översiktlig bild av dieselåtgången. Dieselåtgång för markarbeten respektive uppförande av byggnaden har dokumenterats separat för att möjliggöra särredovisning av resultaten.

Energiåtgången vid byggproduktionen rapporterades av byggexploatören. Till byggarbetsplatsen åtgick enbart el, ingen fjärrvärme var ansluten under produktionskedet. Byggelen är bokförd som en klumpsumma om 219 MWh på ett års drift, se Bilaga 2. Enligt uppgift stod 10 bodar på plats under uppförandet. Dessa uppskattades (högt räknat) använda 40 procent av byggelen. Övrig fördelning av byggelen har inte varit möjlig att få fram.

Spillmängder av material beräknades baserat på uppgifter om spill per produkt i materialspecifikationen från Folkhem. Det spill som uppstår utgör en miljöpåverkan för att tillverka och transportera det till bygget samt att hantera det som avfall, vilket belastar modul A5.

Enligt standarden EN 15978 skall även omdragning av vägar och material för tillfälliga arbeten inkluderas. Dessa uppgifter är utelämnade i denna rapport på grund av bristande dataunderlag.

#### **4.1.4 Användning (modul B1)**

I modulen B1 (emissioner från material) är karbonatisering av betong medtagen, i övrigt saknas data om emissioner i B1.

#### **4.1.5 Underhåll och utbyte (modul B2 och B4)**

Inkluderat i detta projekt är yttre underhåll och utbyte. Även utbyte av betydande invändiga system är medtagna, dvs. el, VVS, ventilation och hisssystem. Modulerna B3 (reparation), samt B5 (renovering), omfattas inte av denna analys, eftersom renovering och reparation är behäftade med stora osäkerheter.

Dokumentationen av utbyte och underhåll är begränsad men kan erhållas från rapporter om livslängdsbeständighet på byggnaders material och system. En av de mest omfattande rapporterna är IVL:s sammanställning av utbyte och underhåll gjord av Erlandsson och Holm (2015) vilken nyttjades tillsammans med SABO:s uppgifter om medellivslängder (SABO, uå). För betydelsefulla material och system där uppgifter saknades i dessa rapporter, konsulterades tillverkare.

Med syftet att ge rättvisande utbytesintervall sammanställdes utbytet med längsta, kortaste samt medellivslängd för perioder om 50 respektive 100 år. Medellivslängden har använts vid beräkningarna. Data för kortaste och längsta utbyte används för känslighetsanalys. I enlighet med EN 15978 allokeras inte hela antalet utbyten till byggnaden om en komponents livslängd överstiger den valda analysperioden för byggnaden utan klimatpåverkan per år och komponent beräknas först och därefter multipliceras med antal år för den valda analysperioden. Observera att detta förfaringssätt skiljer sig från hur utbyte beräknades i studien av Blå Jungfrun.

I Tabell 5 visas de medtagna komponenterna i byggnadens utbyte. Underlagspappen byts i samband med cederträspånen. Fönsterlivslängden skiljer sig mellan fasad och tak.

Tabell 5 Livslängder för de utbytesåtgärder som beräknats inom modul B4.

B4 Utbyte			
Tak		Kortaste livslängd (år)	Längsta livslängd (år)
	Cederspån	25 <sup>11</sup>	50 <sup>12</sup>
	Dubbelfalsat stål, förzinkad	30 <sup>2</sup>	60 <sup>2</sup>
	Underlagspapp	25	50
	Takfönster, träkarmar	15 <sup>4</sup>	30 <sup>4</sup>
	Stuprännor/stuprör	21 <sup>3</sup>	40 <sup>5</sup>
	Övrig utsatt takplåt	21 <sup>3</sup>	40 <sup>5</sup>
Fasad	Cederspån	50 <sup>11</sup>	100 <sup>12</sup>
	Fönster	30 <sup>10</sup>	60 <sup>10</sup>
	Balkongdörrar, alu/glas	35 <sup>5</sup>	50 <sup>6</sup>
	Plåtdörrar	21 <sup>3</sup>	40 <sup>5</sup>
	Glasfönster	30 <sup>10</sup>	60 <sup>6</sup>
Installationer	Elsystem	45 <sup>5</sup>	50 <sup>19</sup>
	Ventilation	50 <sup>19</sup>	70 <sup>19</sup>
	VS rör	50 <sup>16</sup>	80 <sup>18</sup>
	Sprinkler	25 <sup>19</sup>	50 <sup>17</sup>
	Hissar	25 <sup>13</sup>	30 <sup>13</sup>
	Golvvärm	30 <sup>5</sup>	50 <sup>19</sup>

2: (BCIS, 2006), 3: (Burström, 1999), 4: (REPAB, 2010), 5: (SABO, 2015) 6: (IEMB, 2008), 10: (LVB, 2011), 11: (Moälven, n.d.), 12: (Moälven, 2015), 13: (KONE, 2015) 14: (Hydroware, 2015), 15: (Gustavsberg, 2015), 16: (Uponor, 2015) 17: (LK plex, 2015), 18: Ansatt värde baserat på SABO (2015), Uponor (2015), Gustavsberg (2015), 19: Antagande

Det är stor skillnad i livslängd beroende på vilka omständigheter produkterna används under. Dessutom byts normalt inte hela systemen samtidigt.

I modul B2 underhåll, se Tabell 6, är täckmålning på yttre ytor samt fönsterrenovering beräknat, vilket bedömdes utgöra de viktiga posterna för yttre underhåll. Det inre underhållet är inte medtaget.

Tabell 6 Underhållsintervall för beräknade åtgärder inom modul B2.

B2 Underhåll				
			Kortaste underhållsintervall [år]	Längsta underhållsintervall [år]
Tak	Takfönster, träkarmar	Täckmålning	5 <sup>1</sup>	15 <sup>2</sup>
	Takfönster, träkarmar	Helrenovering	15 <sup>2</sup>	20 <sup>2</sup>
	Övrig utsatt takplåt	Ommålning	7 <sup>1</sup>	15 <sup>1</sup>
Fasad	Fönster	Målning	5 <sup>1</sup>	15 <sup>2</sup>
	Entrédörrar	Täckmålning	10 <sup>2</sup>	16 <sup>2</sup>
	Plåtdetaljer	Ommålning	7 <sup>1</sup>	15 <sup>1</sup>

1: (REPAB, 2010), 2: (Burström, 1999)

Det har inte tagits hänsyn till framtida teknikutveckling eller energieffektivisering, dvs. de LCA-data och den teknik som beräkningarna grundas på speglar dagens situation. Samtidigt kan också funktionskrav ändras, vilket kan leda till fler utbyten eller andra tillkommande åtgärder.

#### 4.1.6 Energianvändning i driftskedet (modul B6)

Energibehovsberäkningen och uppföljningen av energianvändning för Strandparken har tillhandahållits av Tyréns (2015). Dessa beräkningar har sedan justerats så att de följer Svebys anvisningar. Även andra tolkningar av data har gjorts och sammanfattas nedan:

- Ett beräknat tappvarmvattenbehov på 14,6 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år är enligt erfarenhetsvärden för lågt och ansätts till Svebys 25 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år.
- Uppmätta data för fjärrvärme omfattar både tappvarmvatten och värme och den del som går till uppvärmning är bedömd till 21,3 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år.
- Fastighetselen korrigeras enligt uppmätta data från Folkhem till 9,15 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år efter att sådan el räknats bort som inte skall ingå enligt BBR i fastighetsel (ursprungligt värde var 18,25 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år).
- Då el-golvvärmens belastar hushållselen, förflyttades denna energianvändning till uppvärmningen. (Enligt BBR ska el-golvvärme eller sk. komfortvärme ingå i husets totala värmeanvändning).

Resultande värde på energianvändningen efter de justeringar som gjorts finns sammanställda i Tabell 7. I beräkningarna har normalårskorrigerade värden använts.

Tabell 7 Byggnadens energianvändning

Efter korrigeringar av projektgrupp (kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> och år)					
	Uppvärmning bostad och lokal	Tappvarmvatten (ansatt)	El till hus B	Summa (ex. garage)	Garage el
Uppmätt	26 (fjärrvärme 21 och el 5)	25	9	60	2
Normalårskorrigerad	29 (fjärrvärme 24 och el 5)	25	9	63	2

#### 4.1.7 Byggnadens slutskede (modul C1-C4)

Sista steget i en livscykelberäkning är slutskedet. Byggnaden skall då demonteras, dess material bortföras och återvinnas. EN 15978 är uppbyggd enligt devisen "polluter pays principle" vilket innebär att förorenaren betalar, dvs. miljöpåverkan för bortförande och uppgradering av material till en sådan form så det kan återvinnas belastar ursprungshuset. Miljöpåverkan efter denna brytpunkt



tillfaller den som använder den återvunna resursen. Notera att inneboende egenskaper såsom energiinnehåll och innehåll av fossilt eller biogent kol inte kan allokeras bort.

Dagens tekniker för behandling och användning av byggnadsavfall beskrivs i Tabell 9. Dessa uppgifter baseras på muntlig information från avfallsexpert på IVL. Beräkningarna för byggnadens slutskede baseras på denna information. Med information om produkternas avfallshantering och materialmängder enligt mängdkalkylen, beräknades energiåtgången för rivningen och bearbetningen av returmaterialen enligt Erlandsson och Pettersson (2015), Tabell 8. Modul C2 beräknades med generiska transportemissioner från GaBi, avståndet till deponi och återvinning antogs vara 15 km i enlighet med Liljenström et al. (2015).

Tabell 8 Beräknad el- och bränsleanvändning för modul C1-4.

Modul C1-C4		
	El [kwh]	Diesel [kWh]
<b>C1 - Demontering</b>		
Förberedande rivningsarbeten	439	4 387
Rivningsarbete	35 094	33 376
Kranarbeten ovan 6 m		2 900
C1 totalt	35 533	40 663
<b>C2 Transport</b>		30 340
<b>C3 Restproduktbehandling</b>		10 230
<b>C4 Deponi</b>		
Summa	35 533	40 570

Tabell 9 Nuvarande hantering av byggmaterial, vilket använts för beräkning av modul C1-4, Erlandsson och Holm (2015)

Material	Hantering
Betong och betongprodukter	Betongen och betongprodukterna krossas på byggplatsen. Är betongen ren och fri från föroreningar såsom golvmattor, oljor och kemikalier används den främst som väg- eller övrigt ballastmaterial (utanför deponier). Om mindre förorenat så används det som konstruktionsmaterial på deponier och om det är förorenat så går det till deponering. Ren betong kan också deponeras om man inte har tillgång/möjligheter till andra avsättningar då det är dyrt att transportera den några längre sträckor.
Makadam	Krossning behöver ej utföras. Motsvarande gäller som för betong ovan.
Gips, inkl brandskyddat gips	Sorteras ut på plats vilket är det vanligast förekommande. Gipsen går till materialåtervinning. Om det hamnar i en blandad container så hamnar det slutligen i en restfraktion på storskaliga sorteringsanläggningar och används slutligen som konstruktionsmaterial på deponier.
Spånskivor	Genomgår flisning på plats, varefter det energiåtervinns. Om det är obehandlat så går det främst till konventionella kraftvärmeverk alt värmeverk (biobränsle) eftersom det är dyrare att skicka det till avfallskraftvärmeverk även om detta säkert förekommer också. Om behandlat så går det till avfallskraftvärmeverk.
Korslimmaträ	Energiåtervinning. Om det är obehandlat så går det till konventionella kraftvärmeverk alt värmeverk (biobränsle), om behandlat så går det till avfallskraftvärmeverk.
Armering	Materialåtervinning
Mineralull	Deponering för rivningsavfall. För motsvarande avfall som uppkommer i samband med ny- eller ombyggnation så förekommer att man tar emot spill av ny mineralull för materialåtervinning.
Stålbalkar	Materialåtervinning
Kakelplattor	Konstruktionsmaterial på deponier.
Klinker	Konstruktionsmaterial på deponier.
Cellplast	Energiåtervinning
Cementbunden spånskiva	Konstruktionsmaterial på deponier.
EPS betong	Konstruktionsmaterial på deponier.
Våtrumsskiva	Konstruktionsmaterial på deponier.
Cellglas	Konstruktionsmaterial på deponier.
Fönster	Glaset går till materialåtervinning eller som konstruktionsmaterial på deponier, karmen går till energiåtervinning och ingående metaller i karmen sorteras ut i slaggsorteringen efter förbränningsprocessen.
Trävaror	Energiåtervinning. Om det är obehandlat så går det till konventionella kraftvärmeverk/värmeverk, om behandlat så går det till avfallskraftvärmeverk.
System	
Hiss	Delar i metall går till materialåtervinning. Brännbart material går till energiåtervinning.

Elsystem	Materialåtervinning. Plast går till förbränning (VP-rör, dosor etc). Kabel återvinns.
Ventilation	Ventilation i metall går till materialåtervinning. I plast så går det till energiåtervinning.
Rörstammar	Plaströr inklusive PVC rör går oftast till energiåtervinning. Rörstammar i keramiska material används som konstruktionsmaterial på deponier. Rörstammar i metall går till materialåtervinning.

#### 4.2 Tilläggsberäkningar för olika garageutföranden

För att bedöma garagets påverkan på resultatet samt möjliggöra jämförelser med byggnader utan garage beräknades klimatpåverkan för produktskedet A1-A3 för fyra olika fall, se Figur 7. Observera att Plan 0 är souterrängplanet som både består av garage, förråd och lokal. Fallen är enligt följande:

##### **Fall 1 Originalutförande med plan 0 och garage**

Originalutförande, dvs. sådan som byggnaden är byggd med integrerat garage under.

##### **Fall 2 Byggnaden med plan 0 men friliggande garage**

Garaget ligger friliggande och väggar och platta läggs till vid tidigare angränsningar mot garagedelen.

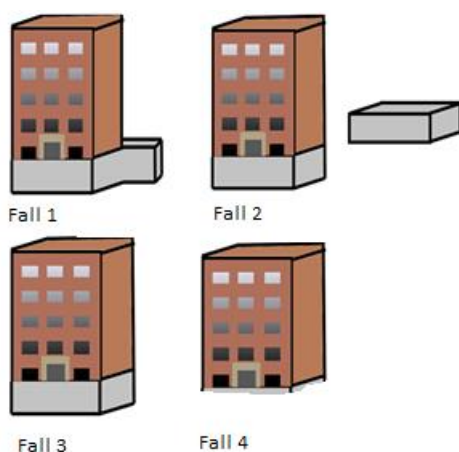
##### **Fall 3 Byggnaden med plan 0 men helt utan garage**

Enligt fall 2 men helt utan garaget. Markarbetena antas minska med 20 procent jämfört med fall 1.

##### **Fall 4 Byggnaden utan både garage och plan 0**

Byggnaden har fått en konstruktionslösning där garaget och plan 0 har ersatts med en platta på mark, innefattande 20 cm makadam, 15 cm betongplatta och 10 cm cellplast. Markarbetena antas minska med 30 procent jämfört med Fall 1. Denna konstruktionslösning gör byggnaden jämförbar med det tidigare studerade huset Blå Jungfrun.

I originalutförandet används plan 0 (grå i Figur 7) både till förråd samt garage. I fall 2 och 3 med friliggande garage respektive utan garage tas de ytor som representerar garaget i grundutförandet bort. I fall 4 ersätts plan 0 och garaget med platta på mark. Ytan för  $A_{temp}$  minskas i fall 4 med 350 m<sup>2</sup>.



Figur 7 Principskiss för olika garageutföranden.

#### 4.3 Ändrade konstruktionslösningar för att uppnå förändrad energiprestanda

För att utvärdera konsekvenserna av byggnader med annan energiprestanda gjordes teoretiska beräkningar på mer energieffektiva, samt energimässigt försämrade utföranden av Strandparken. Syftet med dessa utföranden är att ge jämförbara resultat med lågenergihus på 55 kWh/m<sup>2</sup> och år (som Blå Jungfrun) och flerbostadshus med BBR-prestanda om 80 (nu gällande regler i denna klimatzon) respektive och 90 (gällande regler då huset byggdes) kWh/m<sup>2</sup> och år.

Det finns många åtgärder som avgör en byggnads energiprestanda. I denna studie har främst mängden återvunnen värmeluft via FTX-aggregatet ändrats i de olika alternativa utförandena, då detta har ansetts som det ekonomiskt mest rationella valet att justera energiprestanda.

#### **Fall 1 – Huset som lågenergihus med energibehovet 55 kWh/ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år**

För att uppnå ett teoretiskt energibehov på 55 kWh/ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år kan nedanstående åtgärder utföras:

- Systemverkningsgraden på FTX höjs med 2 procent, från 63 till 65 procent<sup>3</sup>.
- Tilläggsisolering om 70 mm extra klimatskiva (s.k. västkustskiva med stenullsisolering) i ytterväggarna. U-värdet bedöms minska från 0,15 till 0,11 W/m<sup>2</sup> och K.
- Fastighetselen ses över och sänks med 1 kWh/ m<sup>2</sup> A<sub>Temp</sub> och år.
- El-golvvärmens i badrummen tas bort, det ger en besparing på cirka 5 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år.

Dessa åtgärder innebär enbart tillkommande material avseende tilläggsisoleringen. Förändringen av systemverkningsgrad för FTX samt minskningen av fastighetsel bedöms inte påverka några materialmängder. Materialen för el-golvvärme samt ev. förändring av takfot bedöms som försumbara.

#### **Fall 2 – Huset dimensionerat för ett energibehov på 80 kWh/ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år**

För att uppnå ett teoretiskt energibehov på 80 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år kan nedanstående åtgärder utföras:

- 50 mm minskning av ytterväggsisolering av stenull.
- Prestandan sänks på FTX-aggregatet med 17 procent, till systemverkningsgraden 46 procent.
- Fönstrens u-värde höjs från 0,9 till 1,1 W/m<sup>2</sup> och K.

Dessa åtgärder innebär en något minskad mängd isoleringsmaterial.

Slutligen var avsikten att göra motsvarande beräkning för byggnaden dimensionerad för ett energibehov på 90 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år. Detta alternativ bedöms emellertid över huvud taget inte rimligt att bygga. Om FTX-aggregatet tas bort beräknas energianvändningen öka till 105 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år. Ett alternativ är i sådana fall att ta bort FTX-aggregatet och sedan tilläggsisolera och spara in på andra energianvändningsområden vilket inte kan bedömas som ett rationellt alternativ.

## **4.4 Underlag för miljödata**

Redovisning av använda LCA-baserade miljödata som använts vid beräkningarna framgår nedan.

### **4.4.1 Miljödata för byggprocessen (modul A1-A5)**

För alla produkterna som använts i Strandparken finns miljödata i IVL Miljödatabas Bygg (se närmare beskrivning i Liljenström et al, 2015). Denna LCA-databas- kopplas i beräkningsprogrammet Anavitor ihop med indata från byggkalkylen. De flesta av de miljödata som återfinns i IVL Miljödatabas Bygg är s.k. generiska LCA-data för den svenska marknaden. Produktspecifika EPD data har använts för KL-trä, cederpaneler, stålrörspålar och betongen till stödmuren. För övriga betongtyper användes generiska LCA-data från IVL Miljödatabas Bygg för betong typ C32/40 och C25/30.

### **4.4.2 Miljödata för användning (modul B1)**

I användningsskedet har karbonatisering av betong beräknats enligt prEN 16757. För beskrivning, se Bilaga 3.

### **4.4.3 Miljödata för underhåll och utbyte (modul B2 och B4)**

För underhållsprodukter och utbyte av installationer och fasadmateriell har generella data från IVL:s miljödatabas mestadels använts. Utbytet av cedern är beräknad med EPD av FP Innovation (2014) med tillagda transporter samt med tillägg av brandimpregnering på tak och våning 1. Även för fönster har EPD data använts.

<sup>3</sup> FTX kan idag uppfylla en systemverkningsgrad på 85%.

#### 4.4.4 Miljödata för driftenergi (modul B6)

I detta projekt har beräkningar gjorts för tre scenarier eftersom valet av miljödata för el och fjärrvärme har stor inverkan på byggnadens totala påverkan över livscykeln. De olika el- och fjärrvärmescenarierna som används vid beräkningarna framgår av Tabell 10 och är framtagna i Blå Jungfrun-studien där de också är närmare beskrivna (Liljenström et al, 2015). Notera att också nätförluster ingår i dessa värden samt växthusgasutsläpp från avfallsförbränning av fossilt material. De tre scenarierna för el motsvarar *medelel* (nordisk medelelmix i Tabell 10) den årliga försäljningsmixen (inklusive export och import) inom ett geografiskt givet nätområde. *Produktionsspecifik el* motsvarar sådan el som köps av kunder som gjort ett aktivt val, dvs. ursprungsmärkt el (t.ex. Bra Miljöval). Dessa egenskaper "reserveras" då till dessa kunder. Kunder som inte har gjort ett aktivt val anses få den resterande sålda energin i ett givet geografiskt system, dvs. den el som inte kontrakterats som ursprungsmärkt. Denna restel benämns *residualmix*. I tabellen nedan benämns dessa två typer av el som el med låg respektive hög andel förnybara bränslen.

Tabell 10 Klimatpåverkan för använda el- och fjärrvärmemixer enl. Liljenström et al. (2015)

	Energislag	Klimatpåverkan (g CO <sub>2</sub> e/kWh el/värme)
El	El med hög andel förnybara bränslen	7,8
	Nordisk medelelmix	160
	El med låg andel förnybara bränslen	327
Fjärrvärme	Fjärrvärme med hög andel förnybart	30
	Svensk fjärrvärmemedel	97
	Storstadsnät	126

El- och fjärrvärmemixer enligt ovan kombineras till tre scenarier för energianvändning i driften (modul B6) i beräkningarna, Tabell 11.

Tabell 11 Scenarier för energianvändning i driften (modul B6) i beräkningarna.

Scenario låg	Fjärrvärme med hög andel förnybart bränsle och el med hög andel förnybart bränsle
Scenario medel	Svensk medelfjärrvärme och nordisk medelelmix
Scenario hög	Storstadsfjärrvärmenät och el med låg andel förnyelsebara bränslen

#### 4.4.5 Miljödata för slutskedet (modul C1-C4)

Inventeringsdata inom modulerna C1-C4 räknas om till klimatpåverkan baserat på data för nordisk elmix och förbränning av maskinbränslen från Ecoinvent v.2 (Rischknecht R. et al., 2005).

### 4.5 Metodomått skillnader mellan Strandparken och Blå Jungfrun

Nedan redogörs för de metodomått skillnaderna mellan Strandparken och det snarlika SBUF-projektet av Liljenström et al. (2015). I stort sett har precis samma metodik använts och samma datainsamlingsförfarande. Det finns dock några skillnader som beskrivs nedan.

- Produktskede (modul A1-A3): Markförstärkningen såsom pålning är inte beräknad i Blå Jungfrun. Inte heller någon stödmur behövdes. Hissar ingick inte i beräkningarna för Blå Jungfrun.
- Produktskede (modul A1-A3): I Blå Jungfrun-studien kopplades kalkyldata direkt till miljödata med undantag av några underentreprenörsposter och ventilation. Samma procedur användes för Strandparken med skillnaden att stomleveransen behövde kompletteras med en mer högupplöst mängdning av material utifrån konstruktionsritningar.
- Byggproduktion (modul A5): De aktiviteter som tillfaller markarbeten är inte medtagna i studien av Blå Jungfrun.
- Användning (modul B1): I Blå Jungfrun beräknades inte karbonatiseringen av betongen.
- Utbyte (modul B4): Fler utbytesposter togs med i Strandparken. Utbytesintervallerna skiljer sig, men bedöms ha mindre betydelse vid en jämförelse. I Blå Jungfrun-studien rundades

antalet utbyten upp till hela antal. I studien av Strandparken allokerades enbart "den del av utbytet" som ingick i analysperioden. Det har inte heller någon stor påverkan på resultaten.

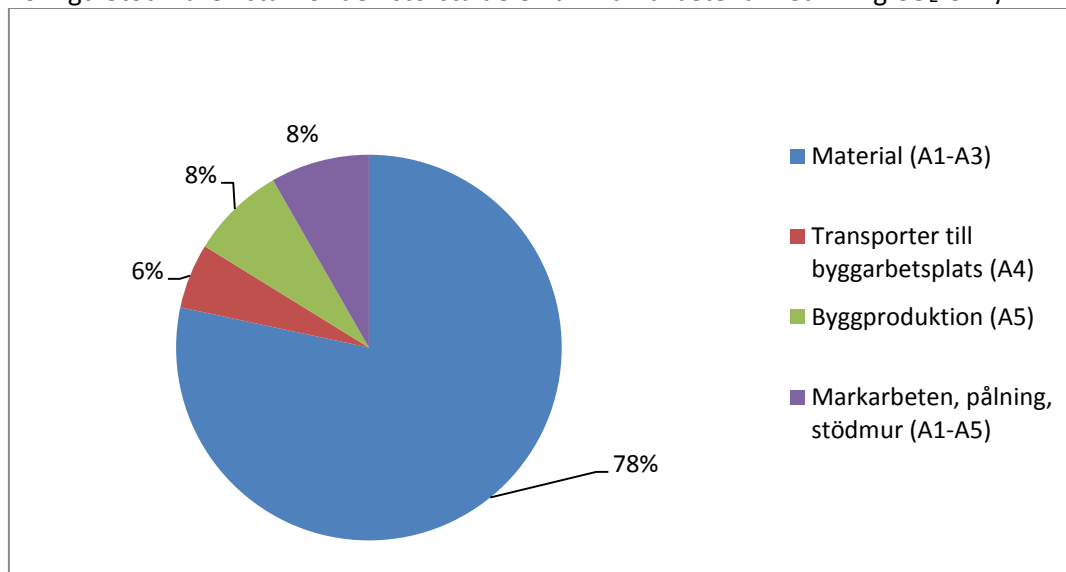
- Slutskedet (modul C1-C4): Mer högupplöst och detaljerade data för rivning användes för Strandparken då sådana uppgifter fanns att tillgå från en rapport av Erlandsson och Petersson (2015). Dessa data ger ungefär dubbelt så stor klimatpåverkan från detta skede i förhållande till de metodantaganden som gjordes i Liljenström et al (2015). Eftersom rivningens klimatpåverkan sett över en livscykel är förhållandevis låg är den relativa betydelsen dock inte stor.

## 5. Resultat

I detta kapitel presenteras studiens resultat för *originaluppförandet av Strandparken*, inklusive garage och markberedning. Kapitlet redovisar först byggprocessens klimatpåverkan fram till att huset tas i drift. Därefter redovisas klimatpåverkan fördelat över hela analysperioder på 50 respektive 100 år.

### 5.1 Byggprocessens klimatpåverkan

Figur 8 och Tabell 12 visar uppströms klimatpåverkan för Strandparken där det framgår att materialproduktionen står för den största andelen, 78 procent av klimatpåverkan. Resten av posterna står för relativt små bidrag men det kan noteras att markarbeten (inklusive pålning samt uppförande av stödmur) står för lika stor andel av uppströms klimatpåverkan som byggproduktionen i övrigt. Stödmuren står för den största delen av markarbetena med 12 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>Temp</sub>.



Figur 8 Uppströms/byggprocessens klimatpåverkan för hus (modul A1-A5) inklusive garage.

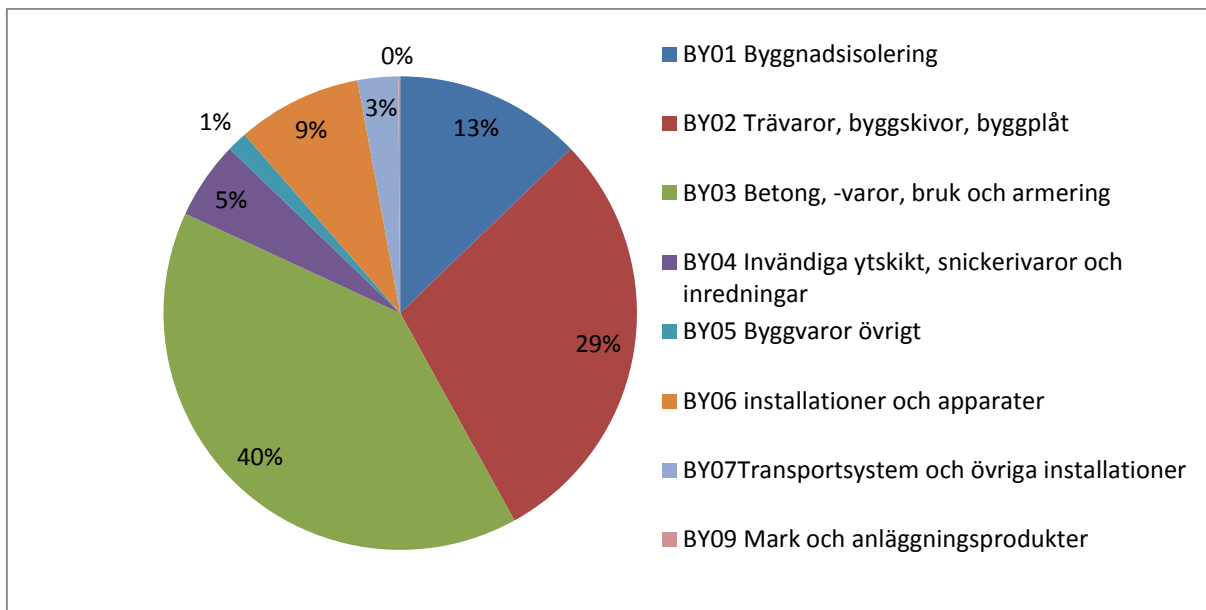
Tabell 12 Uppströms/byggprocessens klimatpåverkan för hus (modul A1-A5) inklusive garage fördelat på olika poster.<sup>4</sup>

Modul	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> -ekv/ m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]
Produktskede (materialproduktion) (A1-A3)	901 000	226
Transporter till byggarbetsplats (A4)	64 600	16
Byggproduktion (A5)	90 000	23
Totalt A1-A5	1 056 000	265
Markarbeten och grundläggning(A1-A5)	96 000	24
Totalt A1-A5 ink. Markarbeten och grundläggning	1 152 000	289

Vilka byggdelar/byggvaror som bidrar mest till klimatpåverkan uppströms framgår av Figur 9. Figuren visar bidraget till byggprocessens klimatpåverkan som kan kopplas till materialanvändning (inklusive transporter till byggplats och spill på byggplatsen). Trots att det är en träkonstruktion framgår att den byggdela som bidrar mest till klimatpåverkan från uppströms aktiviteter är varugruppen Betong, -

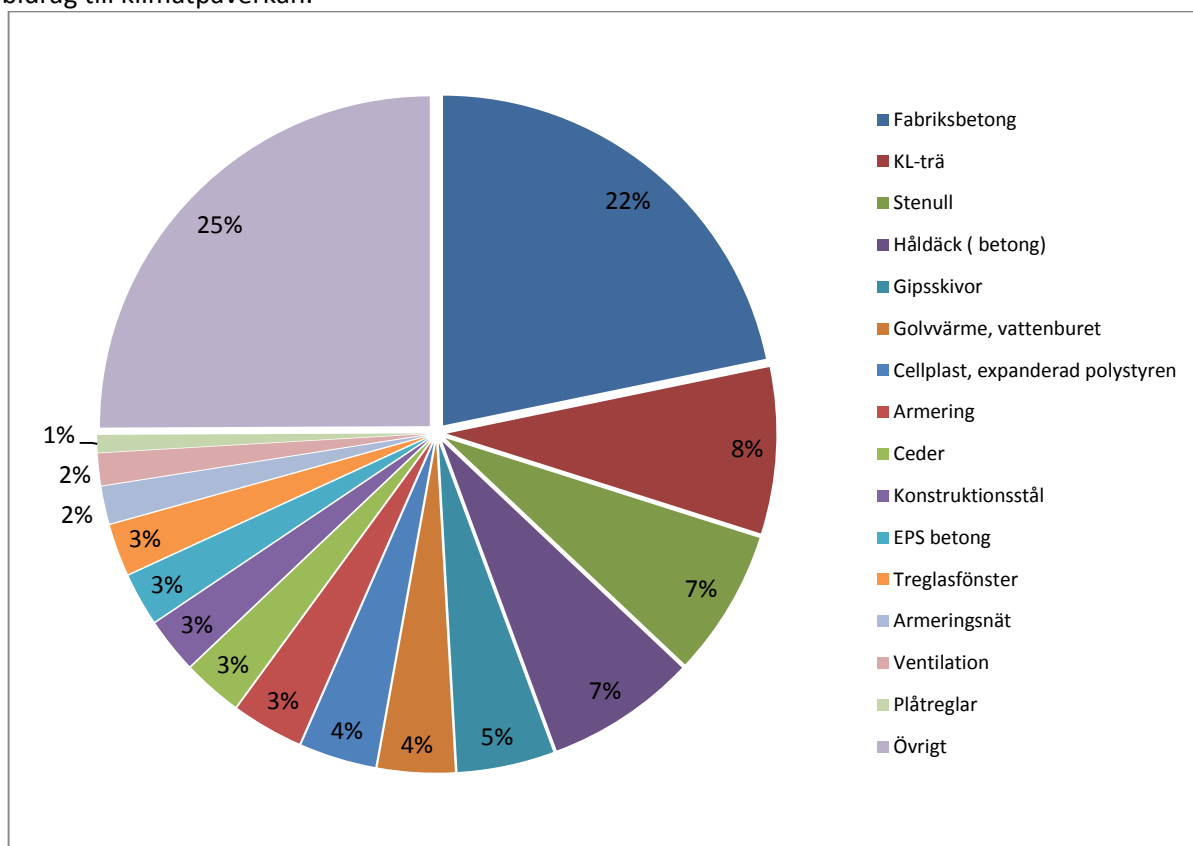
<sup>4</sup> Vi har över lag valt att redovisa klimatpåverkan för byggprocessen totalt och inte utslaget per år. De figurer vi visar över hela livscykelns klimatpåverkan för två analysperioder (50 respektive 100 år) visar tydligt att den relativa påverkan av byggprocessen minskar med en längre analysperiod. Men eftersom växthusgaserna kopplat till byggprocessen redan släppts ut (och redan börjat bidra till klimatpåverkan) då en byggnad är färdigställd, blir det missvisande att fördela dem per år över exempelvis en 50-årsperiod då det antyder just att utsläppen sker längre fram i tiden.

varor, bruk och armering (BY03), det vill säga betong i grund, garage- och källarvåning (plan 0). Andra betydande varugrupper är trävaror, byggskivor och byggplåt (BY02) samt Byggnadsisolering (BY01).



Figur 9 Klimatpåverkan fördelat på varugrupper inklusive materialproduktion (modul A1-3, transport till byggsplats (modul A4) samt produktion av uppkommet spillmaterial (modul A5). Inklusive garage men exklusive markanläggningsmaterial.

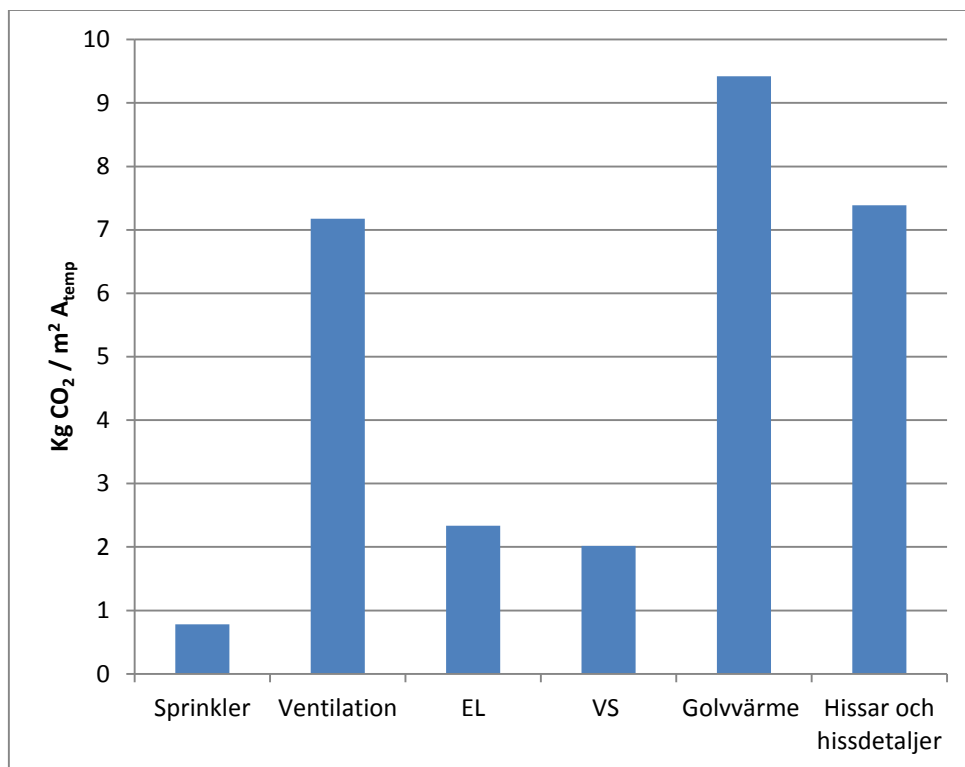
Samma underlag kan också delas in utifrån vilka material som bidrar mest till klimatpåverkan, Figur 10. Även här framgår det att betong i form av fabriksbetong i grund, garage och källare samt betonghåldäck (stödmur ingår ej i Figur 10) står för störst andel av materialens klimatpåverkan. KL-virke samt stenullsisoleringen i ytterväggarna står för ungefär lika stora andelar. Trävaror står sammanlagt för 16 procent av den totala klimatpåverkan kopplat till materialproduktion för byggnaden. Den stora övrigt-posten i Figur 10 omfattar en stor mängd material och komponenter som enskilt har låga bidrag till klimatpåverkan.



Figur 10 Klimatpåverkan fördelat på olika material inklusive materialproduktion (modul A1-3, transport till byggsplats (modul A4) samt produktion av uppkommet spillmaterial (modul A5). Inklusive garage men exklusive markanläggningsmaterial.

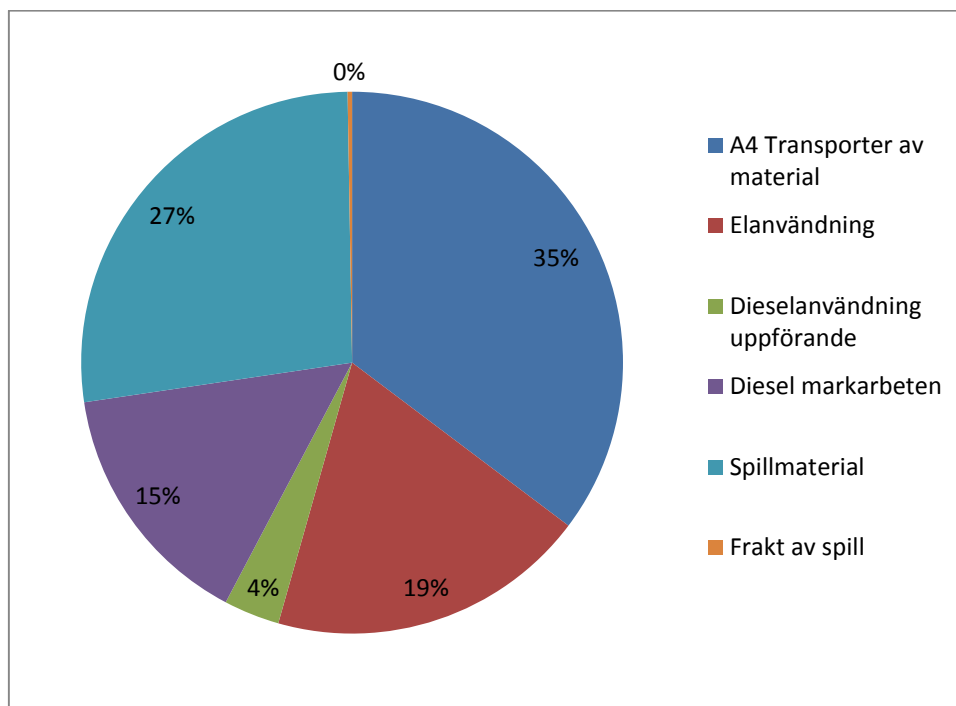


Av Figur 10 framgår att installationer (BY06-07 i fig. 9) står för en tydlig, om än begränsad andel av klimatpåverkan kopplat till olika byggdelar. Detta område har emellertid ofta varit svårt att få fram god inventeringsdata på och det är inte ovanligt att det utelämnas i liknande studier (exempelvis ingår inte klimatpåverkan av hissar i SBUF-studien av Blå Jungfrun). Av detta skäl fanns det intresse av att gå in något djupare på installationernas klimatpåverkan i den här studien, se Figur 11. Av figuren framgår att utöver ventilationsaggregat och -kanaler är det framför allt golvvärmen samt hissarna som ger stora bidrag.



Figur 11 Klimatpåverkan (kg CO<sub>2</sub>ekv. /m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>) fördelat på olika installationer avseende materialproduktion (modul A1-A3)

Även transporter till byggplats (modul A4) samt byggproduktion (modul A5) är processer som ibland utelämnas i liknande LCA-studier på grund av databrist eller för att dessa moduler vanligen står för lägre andelar av byggprocessens klimatpåverkan. Figur 12 samt Tabell 13 nedan visar klimatpåverkan kopplat till dessa moduler. Produktion av spillmaterial bidrar något mer till klimatpåverkan i byggproduktionen jämfört med elanvändning för uppvärmning av byggbodar och dieselanvändning för arbetsmaskiner, som står för ungefär samma storleksordningar.

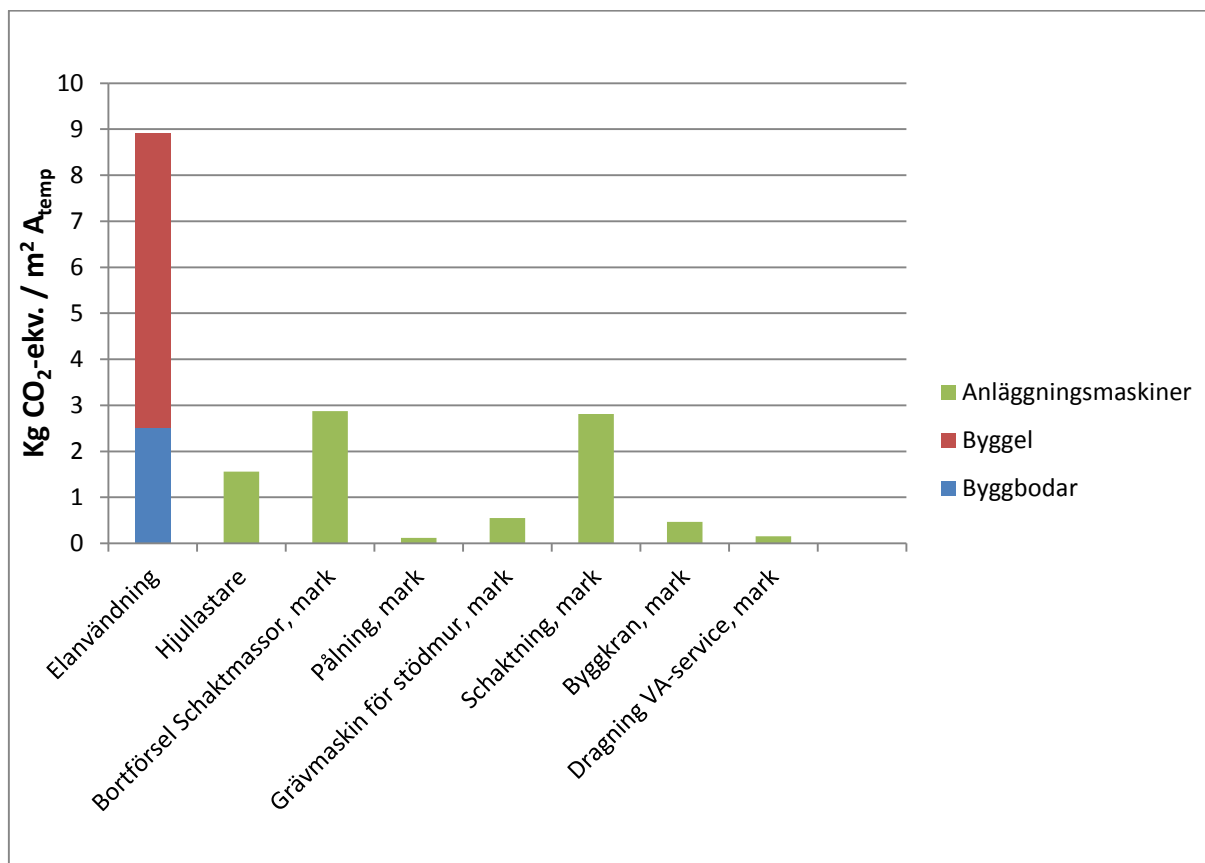


Figur 12 Klimatpåverkan för Strandparken fördelat på olika delposter kopplat till byggarbetsplatsen (modul A4-A5) inklusive markarbeten och garage.

Tabell 13 Klimatpåverkan för Strandparken fördelat på olika delposter kopplat till byggarbetsplatsen (modul A4-A5) inklusive markarbeten och garage.

A4 och A5 inklusive markarbeten		
	[kg CO2 ekv.]	[kg CO2 ekv./m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> ]
<b>A4</b> Transporter av material	65 000	16
<b>A5</b>		
Elanvändning	35 500	9
Dieselanvändning uppförande	6 200	2
Diesel markarbeten	27 700	7
Spillmaterial	50 200	13
Frakt av spill	500	0.1

I denna studie baseras uppgiften för dieselanvändning i byggproduktionen på, av underentreprenörerna, uppskattade användningstider för olika maskiner och moment. I figuren nedan framgår byggproduktionens (modul A5) klimatpåverkan fördelat på delposter, exklusive produktion och transport av spillmaterial. Även här framgår att för Strandparken är dieselanvändningen för själva uppförandet av byggnaden relativt liten, men att markarbeten står för lika stor dieselanvändning. Speciellt bidragande är schaktningen och bortforsling av massorna.

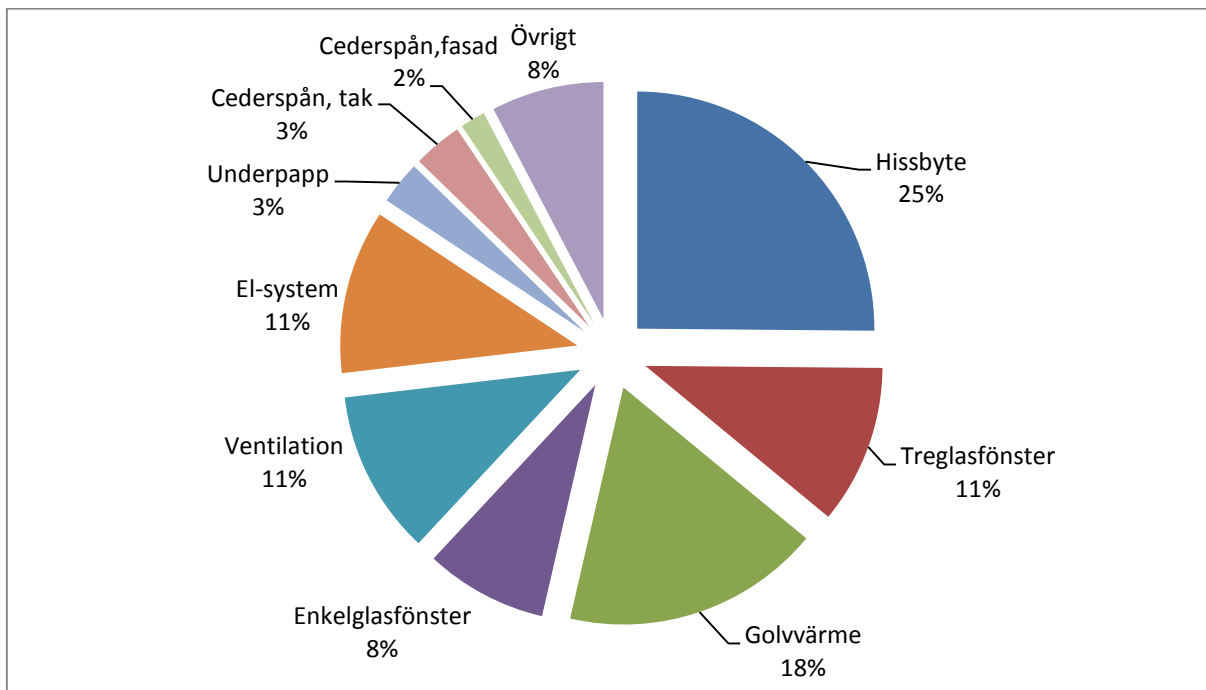


Figur 13 Klimatpåverkan kopplat till el och dieselanvändning i byggproduktionen (modul A5), kg CO<sub>2</sub>ekv/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Posterna med "mark" rör markarbeten.

## 5.2 Nedströms klimatpåverkan – utbyte och underhåll

Till nedströms räknas de resurser som åtgår efter det att byggnaden tas i drift. Det omfattar aktiviteterna under driftskedet (modul B) och slutskedet (modul C). Innan vi går över till att studera klimatpåverkan över hela livscykeln för Strandparken följer här resultat kopplat till underhålls- och utbytesåtgärder för Strandparken. Observera att enligt tidigare resonemang i kapitel 4 (Metodik) ingår i beräkningarna av "nedströms" för Strandparken underhåll (modul B2), utbyte (modul B4), driftens energianvändning (modul B6) och slutskede (modul C1-C4).

När det gäller underhåll (modul B2) innefattas enbart yttre underhållsåtgärder på byggnaden. De viktigaste åtgärderna som identifierades var målning av plåtdörrar och målning av takplåt. Annars är byggnadens exteriör underhållsfri då den består av cederspån som inte kräver något underhåll enligt tillverkaren, utan byts när materialet är uttjänat. Figur 14 och Tabell 14 nedan visar klimatpåverkan fördelat på olika utbytesposter och underhållsåtgärder för de två analysperioderna 50 respektive 100 år baserat på medelintervall för underhåll och utbyte. Till skillnad från uppströms klimatpåverkan är det istället utbytet av olika installationer (framför allt golvvärme och hiss) som står för de stora andelarna av klimatpåverkan kopplat till underhåll och utbyte under Strandparkens driftskede.



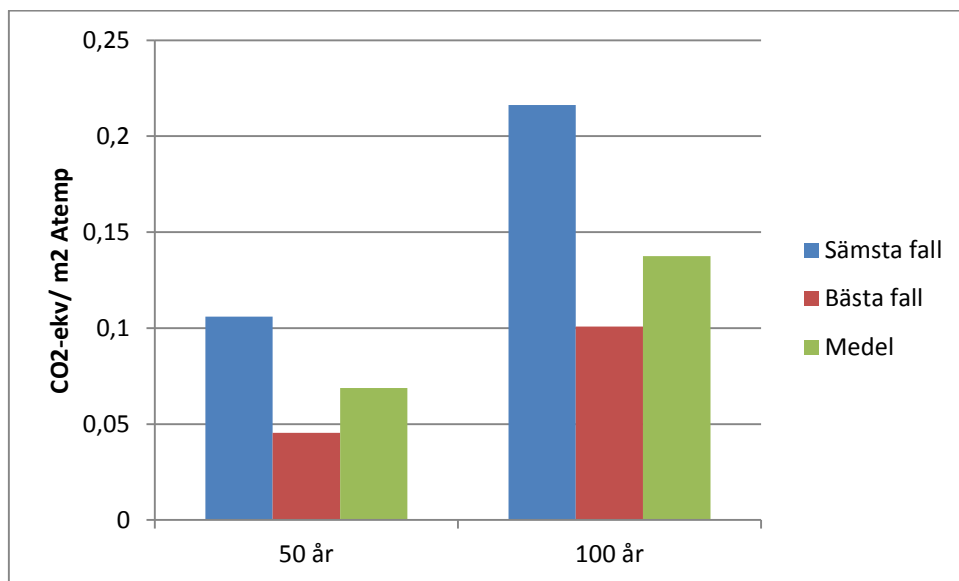
Figur 14 Klimatpåverkan fördelat på olika utbytesposter och underhållsåtgärder över en analysperiod på 50 år samt baserat på medelintervall för underhåll och utbyte.

Tabell 14 Klimatpåverkan fördelat på olika utbytesposter och underhållsåtgärder för analysperioderna 50 respektive 100 år samt baserat på medelintervall för underhåll och utbyte.

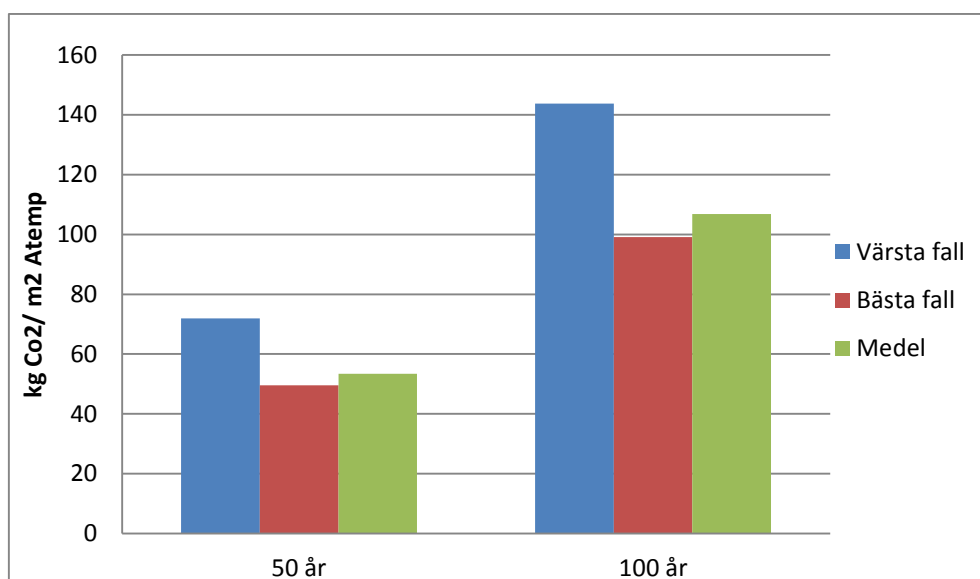
B2 Underhåll, B4 utbyte				
	50 år		100 år	
Åtgärd	kg CO <sub>2</sub> ekv.	kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> Atemp	kg CO <sub>2</sub> ekv.	kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> Atemp
Underhåll (modul B2)				
Målning plåtdörrar	1	0	2	0
Målning takplåt	274	0.07	548	0.14
<b>B2 Totalt</b>	<b>275</b>	<b>0.09</b>	<b>550</b>	<b>0.14</b>
Utbyte (modul B4)				
Hissbyte	53 000	13	106 000	27
Treglasfönster	23 000	6	46 000	12
Golvvärme	37 000	9	74 000	19
Enkelglasfönster	18 000	4	36 000	9
Ventilation	24 000	6	48 000	12
El-system	24 000	6	48 000	12
Underpapp	6 000	2	12 000	3
Cederspån, tak	7 000	2	14 000	4
Cederspån, fasad	4 000	1	8 000	2
Övrigt	16 000	4	32 000	8
<b>B4 Totalt</b>	<b>213 000</b>	<b>53</b>	<b>426 000</b>	<b>107</b>

Klimatpåverkan kopplat till underhålls- och utbytesåtgärder under byggnaders driftskede bygger på scenarier för underhålls- och utbytesintervall. Då liknande scenarier är relativt osäkra valde vi i den här studien att sätta upp tidsspänn för de olika delposterna baserat på lägsta respektive högsta tänkbara intervalltider. Figur 15 och 16 nedan visar en känslighetsanalys för att spegla hur dessa

variationer kan påverka resultatet för klimatpåverkan kopplat till utbyte och underhåll. Nivån ”medel” i figurerna är det scenario som Figur 14 och Tabell 14 ovan baseras på. Analysen visar att valet av intervalltider för underhålls- och utbytesscenarier har en stor inverkan på klimatpåverkan för modul B2 och B4 i detta fall.



Figur 15 Känslighetsanalys på underhåll(modul B2) baserat på val av underhållsintervall (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> Atemp).

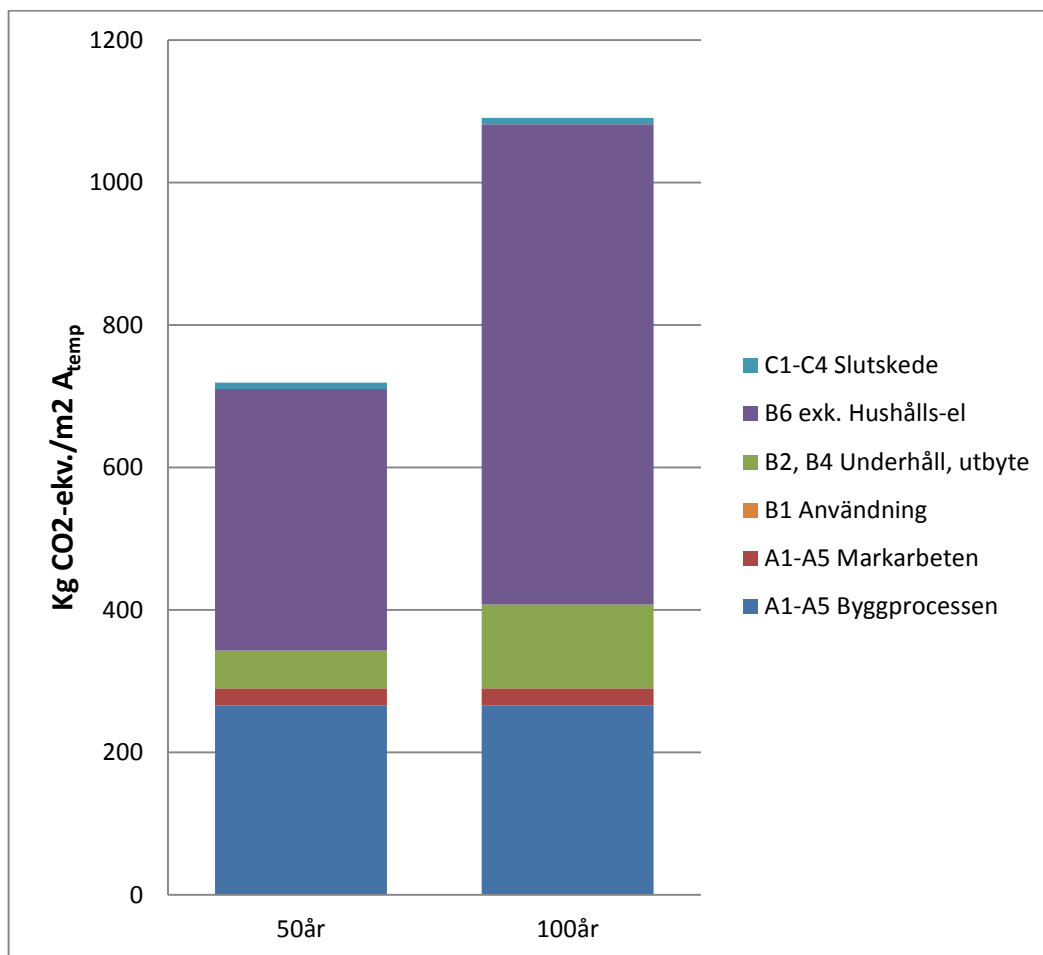


Figur 16 Känslighetsanalys på utbyte (modul B4) baserat på val av livslängder för olika byggdelar.

### 5.3 Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln

Vid ett antagande om energiscenario ”medel, exklusive hushållsel” för energianvändningen i driftskedet (modul B6) samt ”medel” för underhålls- och utbytesintervall i driftskedet ger driftens energianvändning ungefär lika stort bidrag till total klimatpåverkan då analysperioden är 50 år som övriga skeden och moduler, se Figur 17 och Tabell 15 nedan.

Det biogena kolet från alla träbaserade produkter som byggs in i skede A och lagras i skede B kommer i slutskedet (skede C) kvittas, dvs. summan av den temporära biogena kollagringen blir plus minus noll över livscykeln. Inventeringen av biogent CO<sub>2</sub> som lagras i byggnaden under husets livslängd uppskattades till 1 270 000 kg eller 319 kg/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Detta bygger på ett antagande om en medeldensitet hos trämaterialen på 390 kg/m<sup>3</sup> och upptag under virkets uppväxt av 715 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.



Figur 17 Klimatpåverkan (kg CO<sub>2</sub>ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>) för Strandparken fördelat på olika livscykelkedan. Analysperiod 50 respektive 100 år. Energiscenario modul B6: 65kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, medel scenario, exklusive hushålls-el. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel<sup>5</sup>.

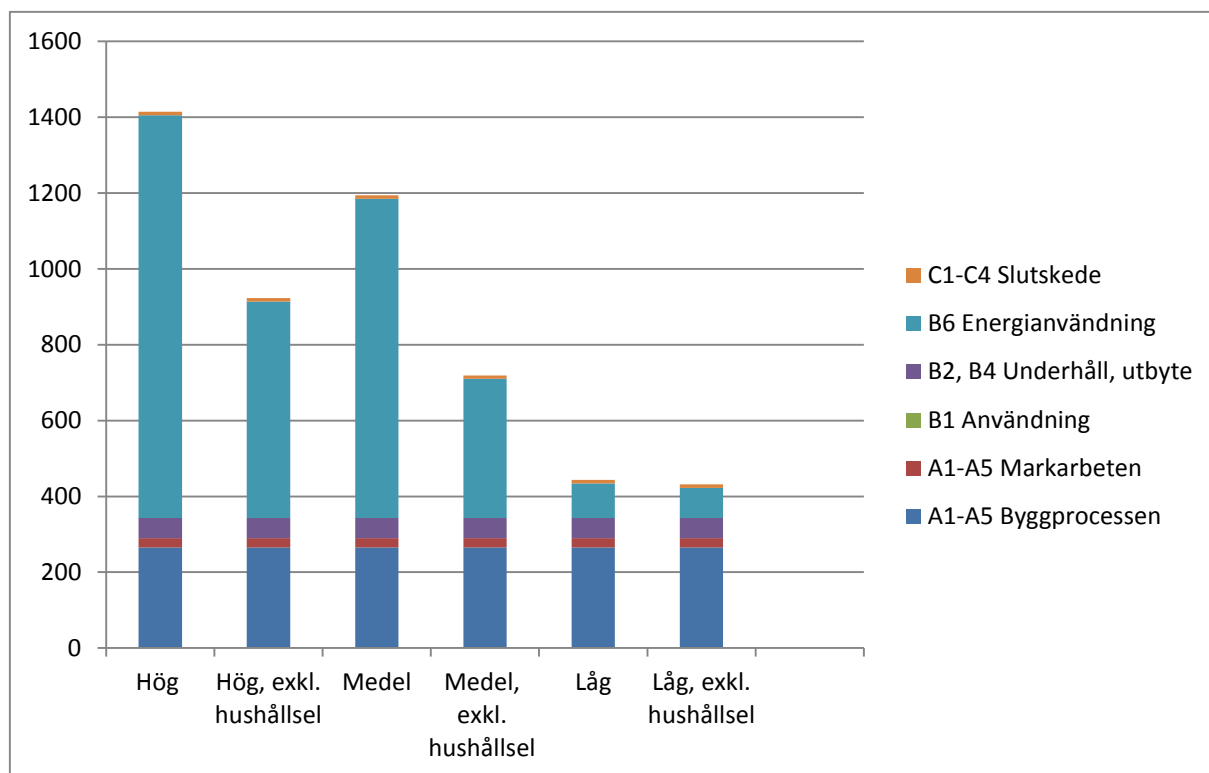
Tabell 15 Klimatpåverkan (kg CO<sub>2</sub>ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>) för Strandparken fördelat på olika livscykelkedan. Analysperiod 50 respektive 100 år. Energiscenario modul B6: medel, exklusive hushålls-el. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel.

Modul	Klimatpåverkan 50 år		Klimatpåverkan 100år	
	kg CO <sub>2</sub> -ekv	kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	kg CO <sub>2</sub> -ekv	kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>
Byggprocessen (modul A1-A5) exkl markarbeten	1 056 000	265	1 056 000	265
Utbyte och underhåll (modul B2, B4)	205 000	53	470 000	106
Energianvändning i driften (modul B6)	1 461 000	367	2 923 000	734
Karbonatisering av betong (B1)	1 000	-0.3	2 000	-0.4
Slutskede (modul C1-4)	36 000	9	36 000	9
<b>Totalt exklusive markarbeten</b>	<b>2 766 000</b>	<b>695</b>	<b>4 481 000</b>	<b>1 055</b>
Markarbeten och grundläggning (modul A1-A5)	96 000	24	96 000	24
<b>Totalt inklusive markarbeten</b>	<b>2 862 000</b>	<b>719</b>	<b>4 296 000</b>	<b>1 079</b>

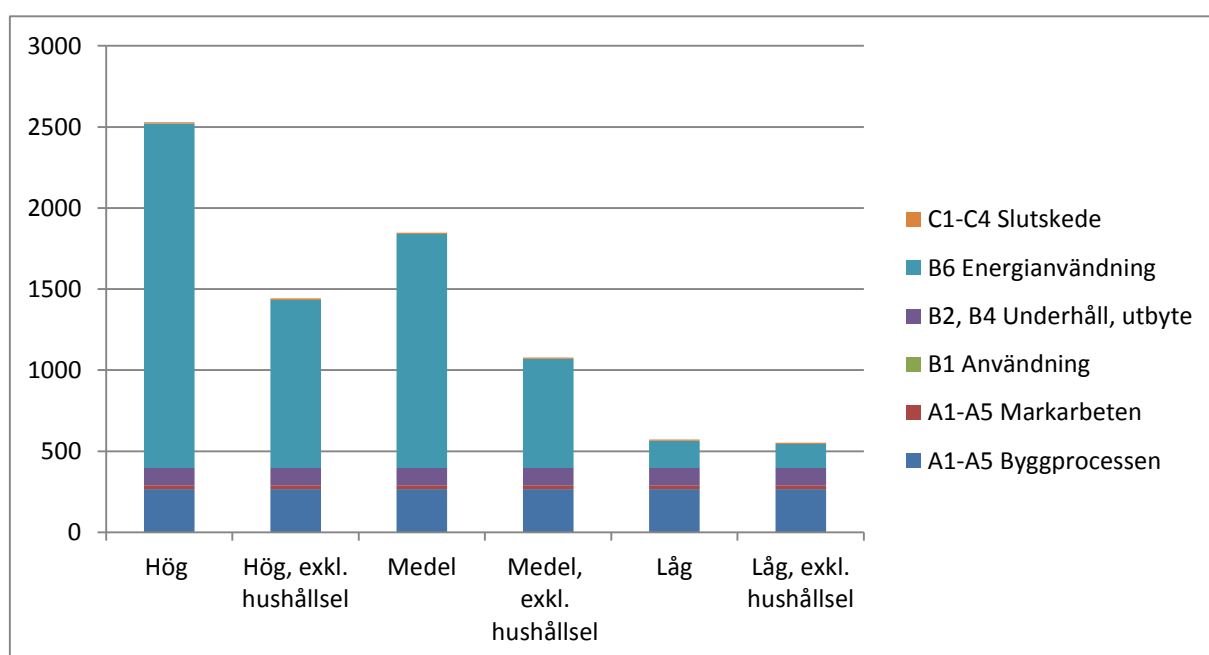
Fördelningen mellan uppströms och nedströms processer beror dock till stor del på val av energiscenario, vilket illustreras i Figur 18 och 19 nedan. När analysperioden är 50 år står uppströms processer (det vill säga byggprocessen – modul A1-5) för 30-62procent av den totala klimatpåverkan beroende på val av el- och fjärrvärmemix i driftskedet (se avsnitt 4.4). Siffrorna avser byggprocessen exklusive markarbeten samt driftenergi exklusive hushålls-el. Underhåll och utbyte (modul B2, B4) och

<sup>5</sup> Observera att modul B1 användning är så liten i sammanhanget att den inte syns i diagrammet. Se vidare Tabell 15

slutskedet (modul C) har ett lägre procentuellt bidrag till klimatpåverkan, men kommer i scenario "låg" för driftskedet att ge ungefär samma bidrag som energianvändningen i driftskedet. Med en analysperiod på 100 år har byggprocessen (modul A1-5) ett lägre bidrag till total klimatpåverkan, se Figur 17. I stället bidrar driftens energianvändning (modul B6) mer eftersom mer energi används ju längre beräkningen görs för. Utbyte och underhåll (B2, B4) står också för en större andel, framför allt då fler större utbytesåtgärder genomförs under en längre analysperiod. Det ska dock noteras att osäkerheten är stor när det gäller framtida energianvändning, renoveringsprocesser etc, särskilt då analysperioden är så pass lång som 100 år. Det är dock sannolikt att framtidens fjärrvärmemixer successivt kommer att baseras på allt högre andelar förnybart material.



Figur 18 Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln vid en analysperiod på 50 år med olika scenarier för driftens energianvändning (modul B6).



Figur 19 Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln vid en analysperiod på 100 år med olika scenarier för driftens energianvändning (modul B6)

## 5.4 Alternativa utföranden gällande garage och bottenplan

I Strandparkens originalutförande finns ett garage under de två husen som ingår i kvarteret. Detta är i dagens nyproduktion en vanlig lösning i centralt belägna fastigheter i större städer. I liknande LCA-studier är det inte alltid som garage och markarbeten räknas med och det finns också fall då garage saknas eller ligger externt. Nedan presenteras resultat för hypotetiska alternativa garageutföranden (för närmare beskrivning, se kap 4.2).

Tabell 16 nedan visar byggprocessens klimatpåverkan för de fyra alternativa utförandena. Enligt beräkningarna står alltså Strandparkens garage i originalutförande för i storleksordningen 70 kg CO<sub>2</sub>-ekv. /m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> eller 27 procent av uppströms klimatpåverkan. Ett externt garage skulle däremot resulterat i en något högre klimatpåverkan, 83 kg CO<sub>2</sub>-ekv. /m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> jämfört med fallet utan garage. Resultaten ligger i samma storleksordning som i den tidigare Blå Jungfrun-studien (Liljenström et al, 2015) där ett hypotetiskt garage beräknades uppgå till 70 kg CO<sub>2</sub>-ekv. /m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>.

Tabell 16 Uppströms (byggprocessens) klimatpåverkan för Strandparken i kg CO<sub>2</sub>-ekv./ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> beräknat för originalutförandet samt tre teoretiska, alternativa utföranden avseende garage och bottenplan. Observera att Fall 4 har 350 m<sup>2</sup> mindre A<sub>temp</sub>.

Modul	Fall 1: Originalutförande	Fall 2: friliggande garage	Fall 3: utan garage	Fall 4: utan garage och utan plan 0
Material (A1-A3)	226	236	162	133
Transporter till byggarbetsplats (A4)	16	17	13	12
Byggproduktion (A5)	24	24	18	18
Totalt A1-A5 exkl markarbeten	265	277	194	163
Markarbeten och grundläggning	24	24	okänt	okänt
Totalt A1-A5 inkl. markarbeten	288	299		

## 5.5 Alternativa utföranden med förändrad energiprestanda

Då huset teoretiskt dimensioneras för 55kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år (fall 1 i avsnitt 4.3) är det förändringarna i klimatskalet som påverkar byggprocessens klimatpåverkan. Att tilläggsisolera fasaden ger ett tillskott i klimatpåverkan med i storleksordningen 1 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. I denna förenklade beräkning tas emellertid ej hänsyn till extra spill, transporter eller förändrade funktioner utöver u-värdet. Då byggnaden teoretiskt dimensioneras för högre energianvändning på 80 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år (fall 2 i avsnitt 4.3) ger minskningen i isolering 0.3kg CO<sub>2</sub>-ekv./ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Åtgärder med förändrad systemverkningsgrad på FTX-systemet, fönster och elgolvärme antas som försumbara i relation till minskad materialåtgång.



## 6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultatet från studien och jämförs med liknande studier, framför allt den tidigare SBUF-studien av Blå Jungfrun (Liljenström et al, 2015). För- och nackdelar med trähusbyggande och andra viktiga aspekter tas också upp.

### 6.1 Resultatdiskussion

För Strandparkens faktiska utförande och en analysperiod på 50 år (Figur 17) står byggprocessen för 38 procent av den totala klimatpåverkan. Om markarbeten inkluderas ökar byggprocessens andel till 40 %. Detta gäller vid antagande om medelscenariot för el- och bränslemix för fjärrvärme i driftskedet samt exklusive hushållsel. Strandparken har en lägre energianvändning än dagens krav i BBR men ligger inte så lågt som ett passivhus. Likväl står byggprocessen för en stor andel av klimatpåverkan över livscykeln.

Byggprocessens procentuella andel förändras mycket då el- och fjärrvärmemixen antas innehålla en låg respektive hög andel fossila bränslen, ifall hushållsel inkluderas i driftens energianvändning samt om analysperioden förlängs till 100 år (se figur 18 och 19). Vid scenariot med låg andel fossila bränslen uppgår byggprocessens klimatpåverkan till 62 procent av totala klimatpåverkan, sett över en analysperiod på 50 år. På längre sikt kan det ses som ett sannolikt scenario, men fram till 2030 är prognosen att svensk fjärrvärme fortfarande innehåller fossila inslag inte minst från avfallsförbränning av plast (Energimyndigheten, 2014).

Resultatet visar också att materialproduktionen utgör den viktigaste andelen av byggprocessens klimatpåverkan. Det handlar om betongmängderna i grund, garage och plan 0 men också om ungefär likvärdiga bidrag från isoleringsmaterial, trästomme, golvvärmesystemet samt stål i armering och andra konstruktioner (framför allt hissar). Garaget uppskattas stå för drygt 70 kg CO<sub>2</sub>-ekv. /m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> eller 27 procent av byggprocessens klimatpåverkan för detta hus (exklusive markarbeten).

Även materialproduktionen till följd av utbyte av byggdelar (modul B4) under husets livscykel är under en 50-årig analysperiod större än transporter till byggplatsen (modul A4) och byggproduktionen (modul A5) tillsammans. Utbyte av installationer som golvvärme och hiss sticker ut som viktiga poster utöver t ex. fönsterbyte. När det gäller utbyte skall det dock betonas att osäkerheten är hög kring framtida processer i dessa scenarier, speciellt för långa analysperioder som 100 år. En känslighetsanalys visade exempelvis att beroende på vilka uppgifter om livslängder för byggdelar som används kan Strandparkens utbyte (modul B4) under en 100-årsperiod variera i storleksordningen från 99 till 144 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>.

Även val av miljödata kan inverka på resultatet. I litteratur och databaser uppvisas variation mellan miljödata för energi- och materialproduktion (Lasvaux et al., 2015). Inom detta projekt nyttjades miljödata för driftskedets olika energiscenarier från Liljenström et al. (2015). Dessa data ligger något högre än generellt använda data inom bokförings-LCA och därmed också data från tidigare studier. När det gäller materialproduktionen är det framför allt av betydelse vilka data som använts för de mest betydande resurserna: betong, stenullsisolering, KL-trä (korslimmat trä), gipsskivor och stål, se Figur 10.

Klimatpåverkan kopplat till byggsystemet i Strandparken kan ses som representativ för dagens produktion av flerbostadshus med massiv trästomme av KL-trä. Resultaten visar emellertid på att markarbeten, som en konsekvens av lokalisering, samt utförande av grund, källarplan och installationer har en relativt stor inverkan på resultatet för ett motsvarande hus. Plan 0 (souterrängplanet) är av betong, varför 1 av 8 våningar i "trähuset" faktiskt är av betong. Det vill säga, lösningar som har valts för just detta hus och som inte på något vis är typiska eller generella för flerbostadshus i massiv trästomme.

Elanvändningen under byggproduktionen är hög med 290 MWh där drygt 35 procent utgörs av elförsörjning till byggbodarna. Övrig byggel har varit omöjlig att koppla till tydliga aktiviteter. Denna uppgift bedöms emellertid inte vara lika tillförlitlig som de motsvarande uppgifter som användes i studien av Blå Jungfrun (Liljenström et al., 2015).

### 6.2 Studiens begränsningar

I studien har enbart klimatpåverkan analyserats. Det är en mycket viktig miljöaspekt men ger samtidigt inte en heltäckande bild av en byggnads miljöpåverkan. Olika material och råvaror kan

bidra mer eller mindre till annan typ av miljöpåverkan. Med tanke på att studieobjektet i detta projekt är ett trähus kommenteras här kort andra typer av miljöpåverkan med relevans för studieobjektet.

De största mängderna trä i Strandparken är det korslimmade virket som kommer från svenska skogar. Biodiversiteten är viktig att beakta då Sveriges produktiva skogar står för omkring 56 procent av Sveriges areal. Den långsiktigt skyddade skogen uppgår till 3.8 procent av den produktiva skogsmarken (SCB, 2014). Utvärderingen av miljömålet *Levande skogar* slår fast att miljö kvalitetsmålet inte kommer uppnås med befintliga och beslutade styrmedel och åtgärder (Skogsstyrelsen, 2015a). Anledningarna är bl.a. avverkning av värdekärnor och brister i miljöhänsyn vid avverkningar, där hänsynskrävande biotoper skadas i för hög omfattning (Skogsstyrelsen, 2015b). 14 av 15 av skogliga naturtypsarealer är för små, minskar eller har en för långsamt ökande areal trots naturvårdsinsatser för att ha en gynnsam bevarandestatur, redovisat i rapporteringen till EUs habitatdirektiv (SLU, 2013). Av de 4127 arter som är rödlistade med osäker överlevnad, är cirka 1800 helt knutna till skog. Avverkning av olika slag och borttagning av naturligt förekommande död ved är de dominerande anledningarna till rödlistningen, speciellt viktig för de hotade arterna är förekomst av äldre skog som aldrig varit kalavverkad (ArtDatabanken, 2011).

Stora insatser för naturvård inom skogen har gjorts de senaste decennierna. Flera faktorer har utvecklats positivt. Andelen skyddad skog har ökat, framförallt genom frivilliga avsättningar, förekomsten av ung död ved ökar. Dialog om målbilder för god miljöhänsyn med skogsbranschen pågår. Likväl är det viktigt att efterfråga information om och ställa krav på hur virket är avverkat för att gynna den biologiska mångfalden.

Cederträspånen som används på taket och plan 1 i Strandparken är impregnerade med brandskyddsmedlet Non-Com för att ge ett skydd mot brand. Non-Com är ett så kallat självfixerande brandskydd, vilket innebär att det fungerar utan tillförsel av någon annan produkt, som en färg. Detta gör att cederns utseende kan bevaras och är ett viktigt argument för att använda denna typ av brandskydd. Det finns inget krav att som tillverkare av brandskyddsmedel redovisa verksamma substanser utöver de krav som ställs enligt kemikalielagstiftningen (dvs. REACH). Av sekretesskäl finns det därför inte någon publik information om vilka ämnen som Non-Com innehåller. Däremot har SundaHus<sup>6</sup> fått tillgång till Non-Com:s kemiska sammansättning och baserat på denna har de gjort en bedömning av produkten som "rekommenderat val", dvs bästa alternativet. Ett liknande självfixerande brandskyddsmedel är Fire-X med avseende på funktion och beständighet. För detta medel finns säkerhetsdatablad, byggvarudeklaration och en bedömning av SundaHus med samma betyg dvs. "rekommenderat val" (Woodsafe, n.d.). En rimlig bedömning är därför att produkterna har kemiskt sett liknande toxiska egenskaper för att kunna erhålla samma betyg av Sunda Hus.

Cedervirket till tak och väggspånen kommer från träd som avverkats i Kanada. Cederträ för spån-tillverkning avverkas vid en ålder på minst 150 år för att få maximal andel rötskyddande ämnen i kärnved, det vill säga för att maximera beständigheten. En viktig frågeställning för hållbart skogsbruk är att säkerställa biologiska värden med de skogsbruksmetoder som används. FSC och PEFC är internationella certifieringssystem med syftet att skapa drivkrafter till ett mer globalt hållbart skogsbruk. I Kanada är PEFC ett stort certifieringssystem och i regionen där cedern kommer från finns också en nationell överenskommelse mellan skogsbolag och miljöorganisationer, Coast Forest Conservation Initiative (CIFI) som skall säkerställa ett hållbart skogsbruk inom regionen.

Slutligen är de allergena ämnena i cederträ något högre än de i gran och furu. Vid bearbetning och frigörande av trädamm eller stickor föreligger risk för allergi, däremot inte efter att träet är monterat. I samband med hantering av cederträ ska därmed de skyddsåtgärder som anges av leverantören följas. Eftersom det för känsliga personer eventuellt kan uppstå allergiska reaktioner rekommenderas användning av handskar vid hantering av cederträ. Vid bearbetning och kapning rekommenderas även att munskydd (minst p3-filter) och skyddsglasögon används.

---

<sup>6</sup> www.sundahus.se

### 6.3 Jämförelse med liknande studier

Denna studie har genomförts i mångt och mycket på samma sätt som den tidigare studien av betonghuset Blå Jungfrun av Liljenström m.fl. (2015). Några viktiga skillnader som har betydelse och som innebär att klimatpåverkan för studierna inte bör jämföras rakt av är:

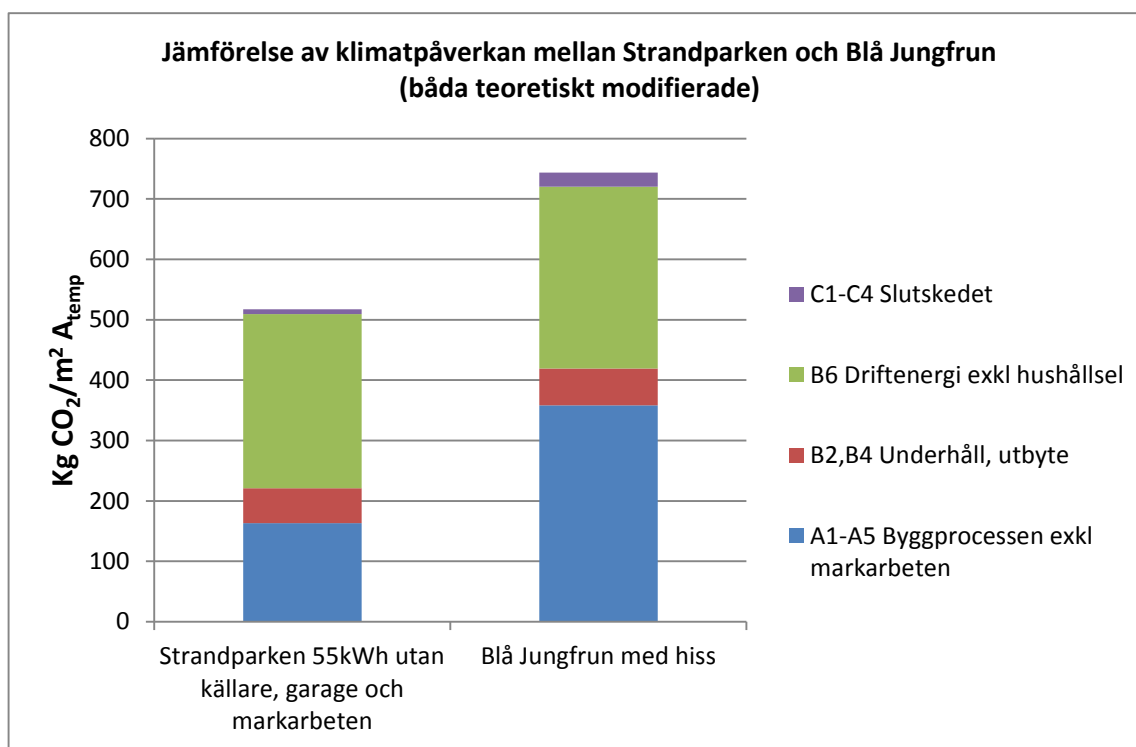
- Markarbeten ingick inte i Blå Jungfrun-studien, vare sig avseende material eller maskinanvändning. De speciella förutsättningarna på grund av Strandparkens lokalisering innebär exempelvis att en stödmur behövde byggas.
- Hiss ingick inte i Blå Jungfrun-studien. Enligt beräkningarna för Strandparken ger hissar en ungefärlig belastning på 7,4 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, baserat på hisstätheten i Strandparken.
- För utbyte (modul B4) ingår fler utbytesposter i Strandparken och även utbytesintervallerna skiljer sig jämfört med Blå Jungfrun-studien. Det gäller framför allt utbyte av hiss och golvvärme. Klimatpåverkan för utbyte har dessutom beräknats på något olika sätt. För Blå Jungfrun räknades på hela antal utbyten till skillnad från Strandparken vilket leder till något högre påverkan för Blå Jungfrun på grund av metodskillnaden.
- Garage ingick inte i Blå Jungfrun-studien. Klimatpåverkan för Strandparkens garage beräknades uppgå till 71 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> med parkeringstalet 0,76.
- Beräkning av karbonatisering av betong ingick inte i Blå Jungfrun-studien.
- Blå jungfrun-studien hade inte källarplan, utan var byggd med platta på mark.

Det bör också tilläggas att data för byggproduktionen, modul A5, har tagits fram på något olika sätt för de två studierna och att det kan finnas osäkerheter kring hur giltiga de data som tillhandahållits av byggherrarna för modul A5, är. Till sist är beräkningarna i båda fallen gjorda för husen så som de är byggda utan att gå in på huruvida de eventuellt funktionsmässigt skiljer sig (t ex. avseende termiskt klimat, luftkvalitet, tillgänglighetsanpassning, livslängd, brand, fukt, etc.)

Nedan är ambitionen att skapa en någorlunda rättvis jämförelse av klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv för de två byggnaderna Strandparken och Blå Jungfrun. Observera alltså att det enbart är de potentiella skillnaderna avseende klimatpåverkan som här tas upp. Vi utgår från Blå Jungfrun i dess originaluppförande men med tillägget att klimatpåverkan för hissar tillförs, baserat på samma hisstäthet och data för hissar som i Strandparken. För att kunna jämföra Strandparken med detta utförande görs följande teoretiska modifieringar av Strandparken:

- Strandparken modifieras som lågenergihus med energianvändningen 55 kWh/ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> med de åtgärder som beskrivits för Fall 1 i avsnitt 4.3, vilket motsvarar Blå Jungfruns energianvändning. Det utgör en energiprestandanivå som sannolikt kommer att utgöra norm på sikt som en följd av nära-noll-energidirektivets implementering i Sverige (Boverket, 2015b).
- Strandparken modifieras utan souterrängvåning och istället med platta på mark. Lokaler, förråd och garage exkluderas på det sätt som är beskrivet som Fall 4 i avsnitt 4.2.
- Karbonatiseringen av betong för Strandparken inräknas ej eftersom detta inte har beräknats i Blå Jungfrun-studien.
- Markarbeten för Strandparken ingår ej eftersom detta inte har beräknats i Blå Jungfrun-studien.

Observera också att detta teoretiskt modifierade utförande av Strandparken ("Strandparken 55kWh, fristående och utan garage" i Figur 20) har mindre A<sub>temp</sub> än originalutförandet. I Figur 20 och Tabell 17 visas klimatpåverkan för Strandparken (teoretiskt modifierad) för att kunna jämföras med Blå Jungfrun.



Figur 20: Jämförelse av klimatpåverkan mellan Strandparken och Blå Jungfrun. . Energiscenario modul B6: medel, exklusive hushålls-el. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel för Strandparken.

Tabell 17: Jämförelse av klimatpåverkan mellan Strandparken och Blå Jungfrun (kg CO<sub>2</sub>-ekv./ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>). Observera att för en rättvisande jämförelse skall Blå Jungfrun jämföras med "Strandparken 55 kWh, fristående och utan garage", dvs. de grönmarkerade kolumnerna. Energiscenario modul B6: medel, exklusive hushållsel. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4 för Strandparken: medel

Modul	Strandparken i originalutförande med garage	Strandparken 55kWh, fristående utan garage	Blå Jungfrun
Produktskede (materialproduktion) (A1-A3)	226	134	304
Transporter till byggarbetsplats (A4)	16	12	12
Byggproduktion (A5)	23	18	43
A1-A5 exkl. markarbeten	265	163	359
Mark och grundarbeten (A1-A5)	24	okänt	okänt
Underhåll och utbyte (B2,B4)	53	58	61
Driftsenergi (B6)	367	288	301
Slutskede (C1-C4)	9	8	23

Byggprocessen (modul A1-5) i Blå Jungfrun (inklusive hissar) står för i storleksordningen 360 kg CO<sub>2</sub>-ekv/ m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Motsvarande moduler i Strandparkens teoretiskt modifierade utförande ger mindre än hälften i klimatpåverkan, mycket på grund av betonganvändningen. I Strandparken står isoleringsmaterial för en betydligt större andel av materialens klimatpåverkan jämfört med Blå Jungfrun, men totalt sett blir påverkan mindre med de minskade betongmängderna. Även om byggproduktionen (modul A5) är förhållandevis liten i sammanhanget, bidrar den med mer än dubbelt så mycket klimatpåverkan i Blå Jungfrun jämfört med Strandparken. Data är emellertid inte helt jämförbara, med undantag av spillmaterialens bidrag. För Blå Jungfrun är klimatpåverkan från spillmaterial tre gånger så hög som i Strandparken, vilket är naturligt med tanke på de olika stommaterialen.

Klimatpåverkan från driftens energianvändning skiljer sig något då Blå Jungfrun till viss del använder el i uppvärmningssyfte. I övrigt har samma miljödata och energiprestanda används vid jämförelsen av driftens energianvändning. Utbyte och underhåll ligger på ungefär samma nivå.

Anledningen till de olika siffrorna för "Strandparken original" och "Strandparken 55 kWh fristående utan garage" i tabellen ovan handlar enbart om att de omfattar olika antal  $m^2 A_{temp}$ . I slutskedet åtgår mer bränsle åt för krossning och transport i Blå Jungfrun, till följd av viktmissiga skillnader och mer krossningsarbete.

Skillnaden i betongmängder är en viktig orsak till skillnaderna i klimatpåverkan mellan Blå Jungfrun och Strandparken, där Blå Jungfrun har en stomme och ytterväggar i betong medan Strandparkens 7 av 8 våningar är uppbyggda av KL-trä i stomme och i ytterväggarna. I Blå Jungfruns fall användes miljödata för de betongrecept som utnyttjades i dess faktiska utförande. I Strandparkens fall fanns motsvarande recept inte att tillgå, utan istället användes data för de betongtyper som användes från IVL:s miljödatabas (typ C32/40 och C25/30). Dessa data uppdateras kontinuerligt och ligger på motsvarande nivå som för Blå Jungfrun, räknat per  $m^3$ .

Efter att rapporten för Blå Jungfrun-studien publicerades har frågan om förbättringspotentialer avseende klimatpåverkan för betong diskuterats flitigt i Sverige. Potentiella förbättringar på mellan 30 till 50 procent finns angivna av leverantörer, beroende på betongkvalitet (Swerock, n.d.; Thomas Group, n.d.). I ett samarbete mellan Riksbyggen och Cementsa kring Riksbyggens projekt BRF Viva i Göteborg anges att betydande besparingar uppnås genom att bland annat använda 35 procent flygaska som cementersättningsprodukt i den betong som används till objektet (During, 2015). I Vivaprojektet utnyttjades LCA för att räkna på effekten av att förbättra betongen avseende klimatpåverkan för det projekterade huset. Det saknas i dagsläget en publikt tillgänglig LCA-rapport för detta projekt, vilket gör det svårt att jämföra och kommentera denna studie. En annan aspekt är att Vivaprojektets analys är begränsad enbart till husstommen. Att tillverka betong med större andel cementersättningsprodukter i cementugnarna eller högre andel förnybar energi i framställningen av betongen är fullt möjligt idag, men har hittills inte kommersialiserats i någon större utsträckning (During, 2015). Vidare påpekar During (2015) att den miljöförbättrade betongens låga klimatpåverkan bygger på dagens allokeringmetoder. Om andra allokeringmetoder används som allokeringar del av primärstålets miljöpåverkan på använt återvunnet armeringsstål, minskar denna besparing. Även de restprodukter som används som cementersättningsprodukter bör få en del av tillverkningsens miljöpåverkan baserat på naturvetenskapliga grunder istället för ekonomisk allokering. Den ekonomiska allokeringen ger cementersättningen i det närmsta försumbar miljöpåverkan.

Det finns därmed ingen anledning att i ovanstående jämförelse av Strandparken och Blå Jungfrun använda "bättre" data för Blå Jungfruns betong, då det inte finns skäl att tro att en betongtyp med lägre klimatpåverkan skulle ha använts om ett projekt som Blå Jungfrun hade byggts idag. Förhoppningsvis tas dock steg idag för att tillhandahålla betong med lägre klimatpåverkan, likt ovan beskrivna exempel. Bättre och öppet redovisade LCA-beräkningar välkomnas då för att tydliggöra mer av potentialen i att förbättra betongens klimatpåverkan.

Avseende jämförelsen ovan mellan studierna av Blå Jungfruns respektive Strandparkens klimatpåverkan skall det slutligen återigen påpekas att vi här inte beaktat huruvida husen funktionsmässigt skiljer sig (t ex. avseende termiskt klimat, luftkvalitet, tillgänglighetsanpassning, livslängd, fukt, brand, etc.). Det bör dock påpekas att det mått på klimatpåverkan som används i rapporten ( $kg CO_2e/m^2 A_{temp}$ ) för byggprocessens klimatpåverkan, på samma sätt som att byggnaders energiprestanda anges i  $kWh/m^2$  och år, inte heller tar hänsyn till yteffektiv invändig utformning. Det innebär att två byggnader med samma klimatpåverkan per  $m^2$  och samma boarea kan skilja sig åt sett till för hur många boende eller vilken användning husen planerats för. Att mäta miljöpåverkan eller resursanvändning per  $m^2$  skapar därmed inga drivkrafter för yteffektiv utformning. Det kan i detta sammanhang nämnas att skillnaden i  $m^2 A_{temp}$  per lägenhet mellan objekten Strandparken och Blå Jungfrun inte är särskilt stor. Strandparken ligger aningen högre.

Slutligen kan kommenteras att jämförelsen mellan Strandparken i originalutförande samt teoretiskt modifierad enligt Tabell 17 också visar på vikten av energieffektivisering i driftskedet. Även om klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv är mindre för huset i trästomme, minskar denna "vinst" betydligt om huset inte byggs energieffektivt.

Tyréns har gjort en EPD (Environmental Product Declaration) på en mycket liknande byggnad som Strandparken för samma byggherre (Folkhem, 2015). Beräkningarna av klimatpåverkan i denna studie ligger i samma storleksordning avseende byggprocessen som för Strandparken. I produktskede och byggprocessskede är skillnaderna små medan för underhåll och utbyte ligger Strandparken något

högre. Studierna skiljer sig också avseende modul B6 – driftens energianvändning på grund av olika energiprestanda.

#### 6.4 Andra aspekter på trähusbyggande med massiv stomme

Inte minst på grund av klimatdebatten under senare år har byggande i trä för flerfamiljshus förts fram som ett intressant bidrag till att reducera byggsektorns klimatpåverkan. Även denna studie stödjer det. Det ökande intresset för trähusbyggande i flera våningar har också lett till en intensifierad debatt kring för- respektive nackdelar med denna typ av konstruktionsval. I detta avsnitt kommenteras några sådana aspekter som ofta lyfts i debatten. Det skall poängteras att flera av de aspekter som tas upp nedan relaterar till trähusbyggande mer generellt än den specifika konstruktionsmetod som använts i Strandparken.

Trähusbyggande med massiv stomme i flera våningar kräver betydligt tjockare bjälklag för att uppfylla ljudkraven. I Strandparken, som projekterades för ljudklass B, är bjälklagen 570 mm tjocka. För betongbjälklag är en normal tjocklek 250 mm. Detta medför att ett flerbostadshus på åtta våningar kan bli över 2,5 meter högre än motsvarande flerbostadshus med betongbjälklag vilket motsvarar i storleksordningen en våning. I detaljplaner föreskrivs ofta en högsta takfotshöjd. Det innebär ett visst ekonomiskt hinder för träbyggande av flerfamiljshus eftersom följderna kan bli att antalet våningar måste reduceras på grund av att man av stadsbyggnadssynpunkt önskar en anpassning till intilliggande byggnader. Den ökade byggnadshöjden medför dessutom en något större total volym (inkluderande bjälklag) att värma jämfört med flerbostadshus med betongbjälklag. Själva våningsvolymen är dock oförändrad.

En annan aspekt som diskuteras är huruvida det finns större risker kopplat till fukt för hus med ytterväggar av trä. I allt byggande, oavsett materialval, behöver hänsyn tas på ett annat sätt än tidigare till följd av ett både varmare och fuktigare klimat. Det torrare klimatet i norra Sverige medför generellt en lägre risk för skador jämfört med det fuktigare klimatet i södra Sverige. Mängden slagregn, vilken ofta varierar med fasadens väderstreck är också av betydelse för risken att en konstruktion ska drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador.

När man använder tjocka högisolerade ytterväggar av trä ställs generellt större krav på diffusionstäthet bland annat genom att dagpunkten kommer att hamna längre in i väggen. Detta i kombination med att från- och tilluftsventilation (FTX) blir allt vanligare gör att risken för ett litet övertryck i byggnaden kan öka vid obalans i systemet, vilket i sin tur kan leda till skador när fuktig luft kan tryckas in i klimatskärmen. Ett lätt undertryck är därför att rekommendera vid FTX-ventilation. Ett felaktigt utförande kan alltid ge en sämre inomhusmiljö och trähus är inget undantag. Med tillräcklig kompetens hos konsulter, arbetsledare och hantverkare och att man i samband med projekteringen genomför en fuktsäkerhets- och klimattendimensionering samt har ett gott väderskydd kan man förebygga problem med fukt i konstruktionen och även oönskade övertemperaturer inomhus. Ett gott väderskydd skapar också en god arbetsmiljö under uppförandet av träbyggnaden. Relaterat till fuktfrågan förekommer ibland oro för egendomsskador inom försäkringsbolag till följd av att sprinklersystem ibland installeras i flerbostadshus med massiv stomme av trä i flera våningar för att säkra personskyddet. Boverkets krav är visserligen materialneutrala beträffande brand. Av ekonomiska och praktiska skäl bör ett åttavånings flerbostadshus i massivt trä förses med sprinkler i de flesta fall. Andra lösningar kan förekomma med då måste byggherren redovisa en alternativ godkänd lösning för tillsynsmyndigheten. I fallet med kv. Strandparken har byggherren Folkhem funnit sprinkler som den mest ekonomiskt fördelaktiga lösningen.

Försäkringsbolagen reglerar sitt risktagande genom premiesättningen och då enbart med hänsyn till egendomsskador. Premiesättningen är en konkurrensfråga mellan bolagen. För framtida trähusbyggande med massiva konstruktioner är det väsentligt att byggbranschen fortsätter den redan pågående dialogen med försäkringsbranschen för att öka kunskapen samt gemensamt få fram ett säkrare byggande både avseende fukt och brand. När det gäller brand är kravet i BBR oberoende av stommaterial en bärighet på 60 respektive 90 minuter beroende på byggnadens höjd. Massiva träkonstruktioner har egenskaper som gör att när det brinner, behålls bärigheten längre än många andra material.

Trähusbyggande av flerfamiljshus har likt annan lättbyggnadsteknik många tekniska fördelar med korta byggtider, hög prefabriceringsgrad, låg vikt vid transporter, låg energianvändning och

begränsat antal köldbryggor. En intressant möjlighet och fördel med trähusbyggande med sin låga vikt är att öka antalet lägenheter genom påbyggnad på befintliga hus. I många fall kan en påbyggnad göras utan att behöva förstärka den befintliga byggnaden. Vid nyproduktion kan antalet pålar vid grundläggning minska tack vare trästommens låga vikt jämfört med motsvarande stomme av betong.

Framför allt i diskussionen idag om trähusbyggande framhålls emellanåt träets fördel som kolsänka, dvs. förmåga att lagra biogent kol under byggnadens livstid. I de figurer och tabeller som redovisats i kapitel 5 ingår inte beräkningar av biogent kol då den metod som träbranschen själv har arbetat fram för LCA-beräkningar, förenklat beskrivet innebär att det blir ett nollsummespel, där det lagrade kolet i slutet av livscykeln återgår till atmosfären. Andra metoder finns som anger det lagrade biogena kolet som en reduktion av klimatpåverkan, vilken ökar ju längre kolet lagras i samhället (så som PAS 2050). Det krävs dock mer arbete för att bedöma om det är möjligt att göra sådana beräkningar och hur stor denna effekt då skulle bli. Klart är dock att enligt resonemanget i avsnitt 2.4 ser vi det som viktigt att skilja mellan fossilt kol och biogent kol i redovisningar av klimatpåverkan på byggnader.

## 7 Slutsatser

Syftet med denna studie var att med en transparent livscykelanalys bedöma ett flerbostadshus med stomme av korslimmat trä med avseende på klimatpåverkan. Syftet var också att se vilka materialgrupper och i vilka livscykelkedan som den största klimatpåverkan uppstår.

Byggnadens klimatpåverkan över livscykeln uppgår till drygt 700 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> för en analysperiod på 50 år och medelscenarier för driftens energianvändning och utbyte. Byggprocessen står för 265 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, eller 38 procent av totala klimatpåverkan och är till stor del kopplat till produktion av materialen. I driftskedet ger energianvändningen stor klimatpåverkan men varierar stort beroende på val av el- och fjärrvärmemix. Med ett energiscenario med låg andel fossila bränslen står byggprocessen för 62 procent av klimatpåverkan över livscykeln. På längre sikt kan det ses som ett sannolikt scenario, men fram till 2030 är prognosen att svensk fjärrvärme fortfarande innehåller fossila inslag inte minst från avfallsförbränning av plast.

Klimatpåverkan hos det undersökta huset Strandparken i Sundbyberg kan ses som förhållandevis representativ för moderna massivträhus i flera våningar, se t ex. Johannesson (2016) med undantag av cederträpanelen på fasad och tak. Byggnaden innehåller emellertid ett garage och källarvåning i betong vilket påverkar resultatet mycket. Byggnaden kan teoretiskt byggas utan garage och källarvåning med platta på mark. Då minskas byggprocessens klimatpåverkan till 161 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Denna siffra är någorlunda jämförbar med den beräkning av byggprocessens klimatpåverkan som gjordes för Blå Jungfrun (Liljenström et al, 2015) och innebär i storleksordningen mer än en halvering av klimatpåverkan jämfört med Blå Jungfrun. Det skall dock betonas att denna studie inte omfattar bedömning av andra funktionsmässiga skillnader mellan husen.

Studien visar också på att det finns möjlighet att minska energibehovet till 55kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år utan att höja byggprocessens utsläpp av växthusgaser nämnvärt. Det vill säga, trots att även denna studie (jmf t ex Liljenström et al, 2015) visar på att byggprocessens andel av klimatpåverkan över livscykeln idag är högre än vad man tidigare utgått från, är det inte något skäl till att inte bygga och renovera till hög energieffektivitet. Studien visar alltså på att det är viktigt ur ett klimatperspektiv att åstadkomma energieffektiva byggnader.

Denna studie påvisar att det är av stor vikt att optimera materialval ur klimat- och resurssynpunkt, välja rätt material för rätt applikationer, använda material med lång livslängd och att minska driftens energianvändning. Både i produkt- och driftskede finns stora potentialer till minskad klimatpåverkan. Att använda stomme av korslimmat trä ger lägre klimatpåverkan i förhållande till exempelvis den betongkonstruktion som användes i Blå Jungfrun. Ett ökat byggande av trähus skulle ge betydande minskningar i koldioxidutsläpp i förhållande till betonghus. Dock avgörs det bästa materialvalet i varje projekt och då med produktspecifika val. Vilket som är det bästa materialet i framtiden har därför inget generellt svar.

Slutligen har enbart klimatpåverkan analyserats i såväl denna som Blå Jungfrun-studien. Det är en mycket viktig miljöaspekt men ger samtidigt inte en heltäckande bild av en byggnads miljöpåverkan. När det gäller träkonstruktioner som denna studie handlar om, är biologisk mångfald i det moderna skogsbruket en särskilt viktig fråga beakta.

Det finns en rad tänkbara strategier att arbeta med för att minska byggnaders klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv. Några exempel som studien av Strandparken visar på är:

- Källarvåningen i betong ger hög klimatpåverkan jämfört med platta på mark. Hade de funktioner som inryms i källarlocalerna kunnat inrymmas på annat sätt i huset?
- Material och design för el-golvuppvärmning och golvvärme anslutet till fjärrvärme ger hög klimatpåverkan, uppvärmning kan genomföras på andra sätt.
- Förlängda livslängder på hissar och andra installationer skulle minska klimatpåverkan för utbytesskedet. Det kan handla om att byta delar på hissarna snarare än att byta hela hissar då enbart ett par delar är uttjänta.
- I byggproduktionen (A5) ger spillmaterial, dieselanvändning i markarbeten och elanvändning hög klimatpåverkan. Det finns mycket elanvändning med okänt användningsområde under byggprocessen. Att få bättre kontroll över denna elanvändning samt att fjärrvärmeansluta byggbodar är viktiga åtgärder.
- Att som i Strandparken bygga på platser som kräver mycket markförstärkningsåtgärder ger snabbt högre klimatpåverkan.
- Strandparkens materialanvändning för grundläggning hade sannolikt kunnat minskas då den i nuvarande utförande är dimensionerad för en tyngre påbyggnad än vad som är fallet då huset har trästomme.



## Referenser

- Artdatabanken, 2011. Tillståndet i skogen- rödlistade arter. [Online] Tillgänglig via: [http://www.slu.se/Global/externwebben/centrumbildningarprojekt/artdatabanken/Dokument/Publikationer/Tillståndet i skogen.pdf](http://www.slu.se/Global/externwebben/centrumbildningarprojekt/artdatabanken/Dokument/Publikationer/Tillståndet_i_skogen.pdf) (Hämtad 3.14.16).
- Baumann, H., Tillman, A.-M., 2004. *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application, Data Management*. Lund, Sverige: Studentlitteratur AB
- Boverket, 2015a. *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv*. Karlskrona, Sverige: Boverket. Rapport: 2015:35
- Boverket, 2015b. *Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader*. Karlskrona, Sverige: Boverket. Rapport 2015:26
- Brown, N.W.O., Olsson, S., Malmqvist, T., 2014. *Embodied greenhouse gas emissions from refurbishment of residential building stock to achieve a 50percent operational energy reduction*. Build. Environ. 79, 46–56. doi:10.1016/j.buildenv.2014.04.018
- Burström, P.G., 1999. *Livslängdsberäkningar av byggnadsmaterial*. Lund, Sverige: Lunds Tekniska Högskola. Volym 2147.
- Cabeza, L.F., Rincin, L., Vilarino, V., Perez, G., Castell, A., 2014. *Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review*. Renew. Sustain. Energy Rev. 29, 394–416. doi:10.1016/j.rser.2013.08.037
- During, O., 2015. *LCA i Viva projektet*. Stockholm, Sverige: Bygg och Teknikförlagen. Nr. 5.
- Energimyndigheten, 2014. *Scenarier över Sveriges energisystem*. Eskilstuna, Sverige: Energimyndigheten. ER 2014:19.
- Erlandsson, M., 2014. *Hållbar användning av klimatpåverkan för byggnader*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport C 15.
- Erlandsson, M., 2013. *Miljödata för arbetsfordon*. Stockholm, Sverige: IVL. Generell byggproduktionformation BPI 13/1.
- Erlandsson, M., Ekvall, T., Jelse, K., Lindfors, L., Gustavsson, M., Karlsson, P., Stripple, H., Zetterberg, L., 2014. *Robust LCA : PCR guide for construction products and works - Specifications to and evaluation of EN 15804 Bibliographic data*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2101.
- Erlandsson, M., Holm, D., 2015. *Beständighetsrapport*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2292.
- Erlandsson, M., Lindfors, L., Jelse, K., 2013. *Robust LCA : Metodval för robust miljöjämförelse med livscykelanalys ( LCA ) - introduktion för nyfikna*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2121.
- Erlandsson, M., Pettersson, D., 2015. *Klimatpåverkan för byggnader med olika klimatprestanda*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport U 5176.
- Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S., 2009. *Recent developments in Life Cycle Assessment*. J. Environ. Manage. 91, 1–21. doi:10.1016/j.jenvman.
- FP Innovation, 2014. *EPD Typical western red cedar decking* [Online]. <https://fpinnovations.ca/ResearchProgram/environment-sustainability/epd-program/Documents/western-red-cedar-decking-epd.pdf> (Hämtad 2.15.16).

Gunieé, J.B., Gorrae, M., Heilungs, R., Huppés, G., 2002. Handbook on life cycle assessment, 7th ed. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London.

Gustavsberg, 2015. *Livslängder på rör*. [Email] (Personlig kommunikation med Lisa Barthon)

Hammond, G., Jones, C., 2011. *THE INVENTORY OF CARBON AND ENERGY*. Bath: England: University of Bath. ISBN: 978 0 86022 703 8.

Heinonen, J., Säynäjoki, A.J., Kuronen, M., Junnila, S., 2012. *Are the greenhouse gas implications of new residential developments understood wrongly?*, *Energies* 5, 2874–2893. doi:10.3390/en5082874

Helin, T., Sokka, L., Soimakallio, S., Pingoud, K., Pajula, T., 2013. *Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment - A review*. *GCB Bioenergy* vol. 5, ss. 475–486.

Hydroware, 2015. *LCA of elevator lifting service in property*. Sverige: Miljögiraff. Rapport 70.

IEMB, 2008. *Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen und Bauteilschichten des Hochbaus für den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“*. Berlin, Tyskland.

IPCC, 2013. *Summary for Policymakers. Clim. Chang.* 2013. Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Change. 33.

ISO, 2015. *CD ballot on ISO 21930-2 ISO 21930 second Committee Draft*. International Standardisation Organisation. Rapport ISO TC 59/SC 17.

ISO, 2006. *ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Environ. Management. - Life cycle Assessment*. International Standardisation Organisation. Standard ISO 14044:2006.

Johannesson, M., 2016. *Höga hus i trä byggs med modern teknik*. Stockholm, Sverige: Svenskt trä. Nummer 1, s. 32–33.

Lasvaux, S., Habert, G., Peuportier, B., Chevalier, J., 2015. *Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies*. *Int. J. Life Cycle Assessment: Springer*. vol. 20 issue 11. ss. 1473-1490.

Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Larsson, G., Brogren, M., 2015. *Byggandets klimatpåverkan Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat flerbostadshus i betong*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2217

LK plex, 2015. *Livslängder på golvvärme*. [Email] (Personlig kommunikation med Lisa Barthon)

Lutzkendorf, T., Balouktsi, 2013. *Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme*, Annex 57. Karlsruhe, Tyskland. (ej tryckt)

LVB, 2011. *Levensduur van bouwproducten*. Rotterdam, Nederländerna: Stichting Bouwreserach.

Moälven, 2015. *Teknisk livslängd*. [Email] (Personlig kommunikation med Peter Johnson). Moelven Wood.

Moälven, n.d. *Cederträspån - Moelven* [Online]. URL <https://www.moelven.com/se/Produkter-och-tjanster/Bygg-och-Bo/Traslag/Cedertraspan/> (hämtad 2.26.16).

Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G., 2009. *Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA*. Constr. Build. Mater. vol. 23, s. 28–39.

Reid, W. V., Chen, D., Goldfarb, L., Hackmann, H., Lee, Y.T., Mokhele, K., Ostrom, E., Raivio, K., Rockstrom, J., Schellnhuber, H.J., Whyte, a., 2010. *Earth System Science for Global Sustainability: Grand Challenges*. Science. Vol. 330, s. 916–917.

REPAB, 2010. *Underhållskostnader*. Mölndal, Sverige: Litorapid Media AB.

Rischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., R.G. and S.M., 2005. *The ecoinvent database*. Int. J. Life Cycle Assess. Vol. 10, s. 3–9.

Rukki, 2015. *Borrade RD-mikropålar* - Ruukki [Online]. <http://www.ruukki.se/Stal/Infrastruktur--grundlaggning/Stalpar/Borrade-RD-mikropalar> (Hämtad 10.26.15).

SABO, 2015. *Teknisk medellivslängd för byggnadskonstruktioner | Dolda fel* [Online]. <http://www.doldafel.se/teknisk-medellivslangd/> (hämtad 2.26.16).

SCB, 2014. *Skyddad natur* [Online]. [http://www.scb.se/sv/\\_Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Miljo/Markanvandning/Skyddad-natur/24541/24548/Behallare-for-Press/390529/](http://www.scb.se/sv/_Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Miljo/Markanvandning/Skyddad-natur/24541/24548/Behallare-for-Press/390529/) (hämtad 3.14.16).

Selincourt, K., 2012. Embodied energy - a ticking time bomb? Green Build. Press. Vol 48.

Skogsstyrelsen, 2015a. *Levande skogar* [Online]. <http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Miljo-och-sektorsmal/Miljomal/fordjupad-utvardering-2012-levande-skogar.pdf> (hämtad 2.15.16).

Skogsstyrelsen, 2015b. *Miljömålen fördjupad utvärdering volym 2* [Online]. [http://www.miljomal.se/Global/24\\_las\\_mer/rapporter/malansvariga\\_myndigheter/2015/mal-i-sikte-volym-2.pdf](http://www.miljomal.se/Global/24_las_mer/rapporter/malansvariga_myndigheter/2015/mal-i-sikte-volym-2.pdf) (hämtad 3.14.16).

SLU, 2013. *Arter och Naturtyper i habitatdirektivet bevarandestatur* [Online]. [http://www.slu.se/Global/externwebben/centrumbildningar-projekt/artdatabanken/Dokument/Publikationer/Arter\\_och\\_naturtyper\\_i\\_habitatdir\\_litet\\_format.pdf](http://www.slu.se/Global/externwebben/centrumbildningar-projekt/artdatabanken/Dokument/Publikationer/Arter_och_naturtyper_i_habitatdir_litet_format.pdf) (accessed 3.14.16).

Sveriges Byggindustrier & IVA, 2014. *Klimatpåverkan från byggprocessen*. Stockholm, Sverige: Kungliga vetenskapsakademin. Rapport 449.

Swerock, n.d. Grön betong [Online]. URL <http://www.swerock.se/sv/Betong1/Gron-betong/> (hämtad 3.9.16).

Thomas Group, n.d. *CO2 Kalkylator* [Online]. URL <http://thomasbetong.se/vara-tjanster/co2-kalkylator> (Hämtad 3.9.16).

Toller, S., Wadeskog, A., Finnveden, G., Malmqvist, T., Carlsson, A., 2009. *Bygg- och fastighetssektorns miljöpåverkan*. Karlskrona, Sverige: Boverket.

Uponor, 2015. *Teknisk livslängd*. [Email] (Personlig kommunikation via Lisa Barthon)

US EPA, C.C.D., n.d. *Carbon Dioxide Emissions Associated with Bioenergy and Other Biogenic Sources*. *Woodsafe, n.d. Woodsafe Exterior® Fire-XTM | Woodsafe* [Online]. <http://www.woodsafese.se/sv/woodsafese-exterior-fire-x> (hämtad 4.5.16).

Zabalza Bribián, I., Valero Capilla, A., Aranda Usón, A., 2011. *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. Building and Environment. Vol 46, s. 1133–1140.

## Bilaga 1: Detaljer avseende inventeringsdata

### Material

#### Pålar

Huset står på borrade stålrörspålar. Data för dessa tillhandahölls av Folkhem. Totalt finns 202,8 m pålar under byggnaden, fördelade på 54 pålar. Dessa har även en stödplatta ovanpå sig. Den totala mängden stål uppgick till 0,9 m<sup>3</sup>. [Enl ritningar K-14.1-011 samt k-14.0-001, dimensioner, stödplattor och stålqualität gavs av Rukki (2013)]

#### Stödmur

Stödmuren tillfördes också. Den biten som allokerades till hus B+garage var 35 m (enligt ritning, där enbart hus B står för 12 m) av 270 m totalt. Tvärsnittsarean på stödmuren är 3,67 m<sup>2</sup>. Detta medför mängderna 44,04 m<sup>3</sup> till hus B samt 84,41 m<sup>3</sup> garage B.

#### Golvvärme

Under hela boarean är golvvärme installerad. Systemet är Purmo. Mängderna av material är:

Material golvvärme		
PE-rör	3.148784	m <sup>3</sup>
Aluplåtar	1.28513	m <sup>3</sup>
Shuntpumpar	7	st

Dessutom tillkommer några fler detaljer.

#### Sprinkler

Huset är utrustat med trycksatt sprinklersystem. Om enbart rör och sprinkler medtas så blir vikterna 33 kg galvade sprinkler och 2025 kg galvade rör (mätt från ritning). Bakgrundsfakta: modellerna på sprinklerhuvud är RFC 49 och röret är avsett för sprinklersystem ([Sprinkler](#)). Det som saknas mängder på är sprinklerpump, ventiler, kompressor, trycktank, vattentank, distribuerare.

#### Arbetsmaskiner

#### Jordschaktning

Enligt grundläggningstidsplan från UE gavs tider för jordschaktning, 30 dagar. Maskindata hämtades från (Erlandsson, 2013) för en grävmaskin 14-28 ton.

Schaktning			Referens
Jordschakt	30	dagar	Tidsplanering
Arbetstid	8	h/dag	Antagande
Nyttjandegrad	0.7	h/h	Erlandsson,2013
Bränsleförbrukning	14	l/h	Erlandsson,2013
Energiförbrukning	173	MJ/h	Erlandsson,2013
Diesel	2.352	m3	

Enligt uppgift från byggtreprenören bortforslades 3400 m<sup>3</sup> schaktmassor. I litteraturen fanns två olika energiförbrukningsförfaranden presenterade. Det ena är beräknat på arbetstid för maskinen och det andra på bränsleförbrukning per volym jord. De två olika alternativen redovisas nedan:

Bortforsling Schaktmassor	Referens
---------------------------	----------

Jordmassor	3400	m <sup>3</sup>	Folkhem
Jordmassor	2125	ton	Densitet 1600kg/m <sup>3</sup>
Viktkapacitet	20	ton	Erlandsson, 2013
Sträcka	10	km	Antagande
Medelhastighet	40	km/h	Antagande
Väntetid	2	h/runda	Antagande
Antal rundor	106.25	rundor	
Tid tot	75.71429		
Pålägg ställtid	0.7		
Bränsleförbruknin	19	l/h	
Bränsleförbruknin	1044	MJ/h	
Tot bränsle	1.438571	m <sup>3</sup>	

### Pålning

Pålningen utfördes med borraragregat, detta aggregat användes under 20 dagar (från grundläggningsplanen). Maskinen antogs vara på 65 kW.

Pålning			Referens
Grundberedning	20	dagar	Tidsplanering
Arbetstid	8	h/dag	Antagande
Nyttjandegrad	0.9	h/h	Erlandsson, 2013
Bränsleförbrukning	7	l/h	Erlandsson, 2013
Bränsleförbrukning	252	MJ/h	Erlandsson, 2013
Diesel	1.008	m <sup>3</sup>	

### Stödmursuppförande

Hela stödmuren tog totalt 60 dagar att uppföra (enl. Joakim konsult). Av detta arbete allokerades 6 dagar till garaget och 2,66 till hus B. Samma maskin som användes vid schaktningen antogs utnyttjas för dessa arbeten.

Grävmaskin för stödmur			Referens
Garage	6	dagar	Allokerat
Hus B	2.666667	dagar	Allokerat
Arbetstid	8	h/dag	Antagande
Nyttjandegrad	0.7	h/h	Erlandsson, 2013
Bränsleförbrukning	14	l/h	Erlandsson, 2013
Diesel garage	0.4704	m <sup>3</sup>	
Diesel hus B	0.209067	m <sup>3</sup>	

### Lyftkran

Både för stödmur samt 10 dagar för att lyfta form och armering(enligt konsult)

Byggkran för grund		
tid	10	dagar
Utnyttjandegrad	0.3	
Tot tid	24	h
Bränsleförbrukning	25	l/h
Bränsleförbrukning	900	MJ/h
Tot bränsle	0.6	m <sup>3</sup>
Tot Energi	21600	MJ/h
CO2 utsläpp	1490.4	kg

### Hjullastare

Enligt byggentreprenör förbrukades 6 m<sup>3</sup> miljödiesel under ett år.  
Uppförandet för hus B var 120 dagar(enl. tidsplanering)

Hjullastare			Referens
Diesel	1.972603	m <sup>3</sup>	Folkhem
Energiförbrukning	69593.42	MJ	

## Bilaga 2: Energianvändning under byggproduktionen, modul A5

Vid uppförandet av huset åtgick 438000 kWh el och ingen fjärrvärmeanvändning. Detta fördelades bl.a. på 16 st manskapsbodar. Då vidare information ej gick att återfå kring vad denna elenergi används till gjordes överslag med andra resultat. Energianvändningen är hög och det är märkligt att inte fjärrvärme utnyttjades. Energiåtgång under byggnadsfasen jämförs i tabellen nedan med några andra projekt.

	Strandparken	Boktryckaren	Grim	Klockstapeln	Blå Jungfrun
Elåtgång [kWh]	219000	185640	196135	204059	1107432
Fjärrvärmeåtg [kWh]	0	98479	151650	255513	108000
tot E	219000	284119	347785	459572	1215432
BOA	2732	3473	3495	2661	8173
BTA	4386	4515	4659	4432	11500
Bodar	10	16	-		
Byggtid	365		-		
Elåtgång/BOA	80.16	53.45	56.12	76.69	135.50
Energiåtgång/BOA	80.16	81.81	99.51	172.71	148.71
Elåtgång/BTA	49.93	41.12	42.10	46.04	
Energiåtgång/BTA	50	63	75	104	106
Källa	Folkhem	(Hatami, 2007)	(Hatami, 2007)	(Hatami, 2007)	(Liljenström,2014)

Norra Djurgårdsstaden i Stockholm har en maxgräns 4000 kWh per manskapsbod och år (Stockholm Stad,2012) om denna siffran används för bodarna i Strandparken så återstår

Scenarion för energianvändning under byggprocessen			
Scenario 1			
Energiförbrukning/bod	6173.00	kWh	(Hatami,2007)
Total Energiförbrukning bodar	40589.59	kWh	
Övrig el	397410.41	kWh	
Scenario 2			
E/bod	4000.00	kWh	(Stockholm Stad, 2012)
Total E bodar	26966.29	kWh	
Övrig el	411033.71	kWh	



## Bilaga 3: Karbonatisering av betong

Beräkning av karbonatisering av betong under driftskedet (modul B1) i Strandparken.

Karbonatisering sker i liten skala under byggnadens driftskede. Mängden koldioxid som reagerar med cementen beror på betongkvalitet och exponeringsläge. Betong under tätskikt antas inte karbonatisera. Den maximala karbonatiseringen är 925 kg CO<sub>2</sub> under 50 år och 1300 kg under 100år, beräknat enligt prEN 16757 (2015) med antaganden enligt tabellen nedan. Karbonatiseringen sker till största delen efter demolering, då betongen vanligtvis används som fyllnadsmaterial på deponier.

Väggar plan 0	Yta (m <sup>2</sup> )	K-värde	Karbonatiseringsgrad	CO <sub>2</sub> upptag max (TCC)	Kg cement /m <sup>3</sup>
Yttre motfylld	218	0.5	0.85	0.41	330
Yttre ej motfylld	53	1.6	0.85	0.41	330
Innerväggar	165	4.6	0.4	0.41	330
Innersida av yttervägg	271	4.6	0.4	0.41	330

# Byggandets klimatpåverkan

## LIVSCYKELBERÄKNING AV KLIMATPÅVERKAN FÖR ETT NYPRODUCERAT ENERGIEFFEKTIVT FLERBOSTADSHUS MED MASSIV STOMME AV TRÄ

Mathias Larsson, IVL, Martin Erlandsson, IVL, Tove Malmqvist, avdelningen för Miljöstrategisk analys (fms), KTH, och Johnny Kellner, Rikshem.

Denna rapport finns för nedladdning på [www.sverigesbyggindustrier.se/publikationer](http://www.sverigesbyggindustrier.se/publikationer)  
Rapporten ingår även i IVL Svenska Miljöinstitutets rapportserie som rapport B 2260.

## LCA-analys av flerbostadshus med stomme av trä.

Medverkande och finansiärer:

