



Nr B 2260

Juni 2016

Byggandets klimatpåverkan

Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä

Mathias Larsson, Martin Erlandsson, Tove Malmqvist och Johnny Kellner



I samarbete med: Sveriges Byggindustrier

Författare Mathias Larsson, IVL, Martin Erlandsson, IVL, Tove Malmqvist, KTH, Johnny Kellner, Rikshem

Medel från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, projekt 130 90), Regeringskansliet (Näringsdepartementet), SIVL (Stiftelsen IVL) samt deltagande organisationer och företag

Fotograf Martin Erlandsson

Rapportnummer B 2260

ISBN 978-91-88319-03-6

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2016

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Föreliggande rapport finns även publicerad som en rapport från Sveriges Byggindustrier med samma rubrik. Rapporterna har i princip samma innehåll vad avser klimatberäkningarna.

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 ur ett livscykelperspektiv för ett lågenergihus med stomme i betong, Blå Jungfrun, av forskare på KTH och IVL Svenska Miljöinstitutet. Den studien har starkt bidragit till att öka uppmärksamheten för byggprocessens klimatpåverkan. Det här projektet är en uppföljning av studien för Blå Jungfrun och här har forskare från IVL och KTH tillsammans med representanter från byggbranschen och en bred sammansatt styr- och referensgrupp, studerat klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv av ett hus med trästomme.

Studien har omfattat ett åtta våningars flerbostadshus med stomme av trä i kvarteret 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 och Martin Erlandsson från IVL, Tove Malmqvist från KTH 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, representant för Rikshem. Adjungerade har varit 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-Fabrikanernas Råd.

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.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	11
2.	Bakgrund	12
2.1	Livscykelanalys	12
2.2	Livscykelanalyser av byggnader	13
2.3	Modulindelningen i CEN standarderna	14
2.4	Påverkanskategorier i livscykelanalys	17
2.4.1	Beräkning av klimatpåverkan	17
2.5	Begreppsdefinitioner	19
3.	Beskrivning av Strandparken	20
4.	Metodik	24
4.1	Inventeringsdata	25
4.1.1	Produktskedet (modul A1-A3)	25
4.1.2	Transporter till byggplatsen (modul A4)	26
4.1.3	Byggproduktionen (modul A5)	26
4.1.4	Användning (modul B1)	26
4.1.5	Underhåll och utbyte (modul B2 och B4)	26
4.1.6	Energianvändning i driftskedet (modul B6)	28
4.1.7	Byggnadens slutskede (modul C1-C4)	29
4.2	Alternativa byggnadsutföranden	31
4.3	Alternativa energilösningar	32
4.4	Underlag för miljödata	33
4.4.1	Miljödata för byggprocessen (modul A1-A5)	33
4.4.2	Miljödata för användning (modul B1)	33
4.4.3	Miljödata för underhåll och utbyte (modul B2 och B4)	33
4.4.4	Miljödata för driftenergi (modul B6)	33
4.4.5	Miljödata för slutskedet (modul C1-C4)	34
4.4.6	Metodmässiga skillnader mellan Strandparken och Blå Jungfrun	35
5.	Resultat	35
5.1	Byggprocessens klimatpåverkan	35
5.2	Utbyte och underhåll	41
5.3	Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln	44
5.4	Alternativa utföranden gällande garage och bottenplan	47
5.5	Alternativa utföranden med förändrad energiprestanda	48
6.	Diskussion	49
6.1	Resultatdiskussion	49
6.2	Jämförelse med liknande studier	50
7.	Slutsatser	54
8.	Referenser	56

Bilaga 1: Detaljer avseende inventeringsdata	60
Bilaga 2: Energianvändning under byggproduktionen, modul A5.....	64
Bilaga 3: Karbonatisering av betong	66

Sammanfattning

Klimatpåverkan från byggnaders energianvändning är ett mycket diskuterat och relativt väl utforskat område. Dock är inte klimatpåverkan från byggprocessen, inklusive tillverkning av byggmaterial, byggtransporter och produktionen på byggarbetsplatserna lika väl belyst. Under 2014 genomfördes en studie ur ett livscykelperspektiv rörande klimatpåverkan från Blå Jungfrun, ett lågenergihus med stomme i betong. Studien genomfördes av forskare på KTH och IVL. Det här projektet är en uppföljning av Blå Jungfrun-studien; med syftet att ur ett livscykelperspektiv studera klimatpåverkan av ett nybyggt flerbostadshus - i flera våningar och med stomme i trä. Den studerade byggnaden är ett av de två åttavåningshusen i kvarteret 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 alla delar av byggnadens livscykel (byggprocess, driftskede och slutskede) motsvarande modul A-C i standarden.

Strandparkens klimatpåverkan över hela livscykeln, det vill säga från utvinning av naturresurser, byggprocessen, användningsskedet till och med slutskedet, uppgår till drygt 700 kg CO_{2e}/m² för en analysperiod på 50 år. Byggprocessen, exklusive markarbeten står för 265 kg CO_{2e}/m² eller 38 procent av totala klimatpåverkan över en analysperiod på 50 år.

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 procent. Korslimmat trä samt stenullsisolering i ytterväggarna står för ungefär lika stora andelar (7 respektive 8 procent vardera).

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

Studien visar också att det finns möjlighet att minska energibehovet till 55 kWh/m² A_{temp} 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 renovering.

Byggnaden så som den är utförd 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_{2e}/m² A_{temp}. Blå Jungfrun, har inget garage och källarvåning utan en platta på mark. I förhållande till tidigare studie har klimatpåverkan för hiss lagts till för Blå Jungfrun då detta missats i den ursprungliga inventeringen. 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. Syftet har enbart varit att lyfta frågan om



Rapport B 2260 – Byggandets klimatpåverkan– Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä

byggprocessens klimatpåverkan för att öka kunskapen hos byggsektorn, myndigheter och politiker.

Summary

The climate impact caused by the energy demand of buildings is a widely discussed and explored area. The climate impact from the building process, including the manufacturing of building materials, transports and the production on the building site is not as well known. During 2014, researchers from KTH and IVL performed a study with a life cycle perspective of the climate impact on a low-energy residential house with a body of concrete, Blå Jungfrun. This project is a continuation of the Blå Jungfrun study, with the aim to portray the life cycle performance of a residential house of wood. The studied building is eight floors high, with a base of concrete. The company Folkhem is both contractor and developer.

The calculations in the study were performed according to the standard EN 15978. This means that the calculations are made with attributional life cycle assessment. The standard covers all life cycle stages of the buildings life cycle (product manufacturing, construction, use and end of life), corresponding to module A-C in the standard.

The climate impact for a whole life cycle of Strandparken is just over 700 kg CO_{2e}/m² A_{temp}, on a reference life time of 50 years. The building process, excluding ground works represents 265 kg CO_{2e}/m² A_{temp}, or 38 percent of the climate impact over 50 years. The climate impact from the building process is mostly connected to the material production. The concrete, used in the foundation, garage and basement, stands for the largest part of the climate impact from the materials. The impact from ready-mixed concrete is 22 percent. The climate impact of the house body constructed from cross-laminated timber or stone wool insulation are almost the same (7 respective 8 percent).

The largest impact in the use phase is the energy consumption. The impact from the energy use depends largely on the choice of electricity and district heating mix. An energy scenario with low amounts of fossil fuels will make the building process responsible for 62 percent of the climate impact over a 50 year period, without the household electricity. This might be possible in a longer time perspective, but the forecast for 2030 is that the Swedish district heating will still contain fossil fuels in significant part from the incineration of fossil waste.

The study also shows the possibility to decrease the energy demand from 65 to 55 kWh/m² A_{temp}/year with only a slight increase of the climate impact from the building process. This means that extensive energy efficiency measures are essential for reducing climate impacts in construction and refurbishment. Even though both this study and the Blå Jungfrun case show that the impact from the building process is higher than previously thought.

Strandparken has a garage and ceiling in concrete that contribute significant to the climate impact from the building process. Theoretically, the building can be constructed without the garage and ceiling and with a foundation of slab on the ground. This theoretical construction would decrease the climate impact from the building process from 265 to 161 kg CO_{2e}/m² A_{temp}. The result of the theoretical design can then be compared with the previous study of Blå Jungfrun, since Blå Jungfrun also is built with slab on ground. The comparison shows that the construction process of the wooden building causes less climate impact than the concrete building. It is importance to mention that this conclusion is based only on the climate impacts between the buildings.

The study shows that it is important to consider the climate impact also for wooden buildings. It is of great importance to optimize the choice of materials in a climate and resource perspective, and to choose the right materials for the right application; use materials with long technical lifetime and



decrease the operational energy use in the planning of new houses. The purpose of this study is only to raise the question of the climate impact from the building process and to increase the knowledge for the construction industry, authorities and politicians.

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 "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 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 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 bedöma om denna påverkan står för en proportionellt större andel också vid byggande med massiv trästomme.

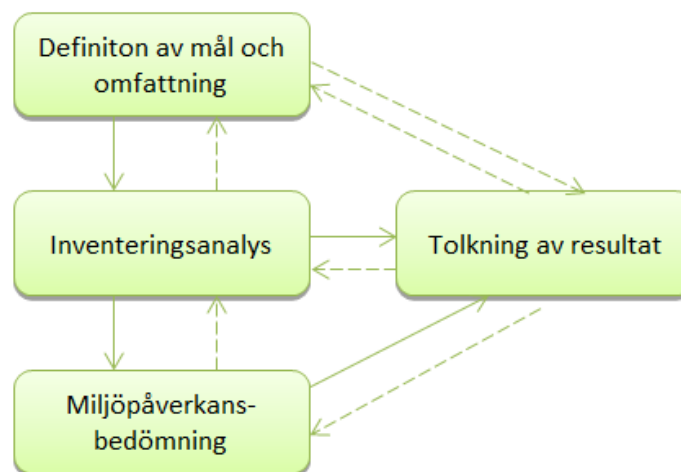
För att förenkla en korrekt jämförelse av resultaten från de två SBUF-projekten innehåller rapporten också en teoretisk jämförelse av Blå Jungfrun och Strandparken. Syftet är emellertid inte att ta ställning till ett visst val av byggnadsmaterial eller en viss byggteknik baserat på en stomme av t ex trä, betong, stål mm.

2. Bakgrund

Detta kapitel innehåller en allmän beskrivning av LCA- metodiken och hur beräkning av klimatpåverkan har genomförts. 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 livstid (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-vagga-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 (CO₂), metan, lustgas och så vidare om till klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter CO₂e.
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 Byggproduktförordningen¹ 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 m² tempererad yta (A_{temp}) 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

¹ 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.

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 livscykelkedena. 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 miljöcertifierings-systemet för byggnader DGNB, som också används 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. Standarden EN 15804 utgår ifrån en motsvarande ISO-standard; ISO 21930 - Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products (ISO, 2007). I början av 2014 antogs 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 kallad PEF (Product Environmental Footprint). Denna skiljer sig en del metodmässigt mot de tidigare nämnda CEN- och ISO-standarderna. CEN:s arbetsgrupp TC 350 har nu fått ett nytt mandat för att se över sina standarder så att dessa om möjligt ska vara kompatibla med vissa av de metodval som görs i PEF.

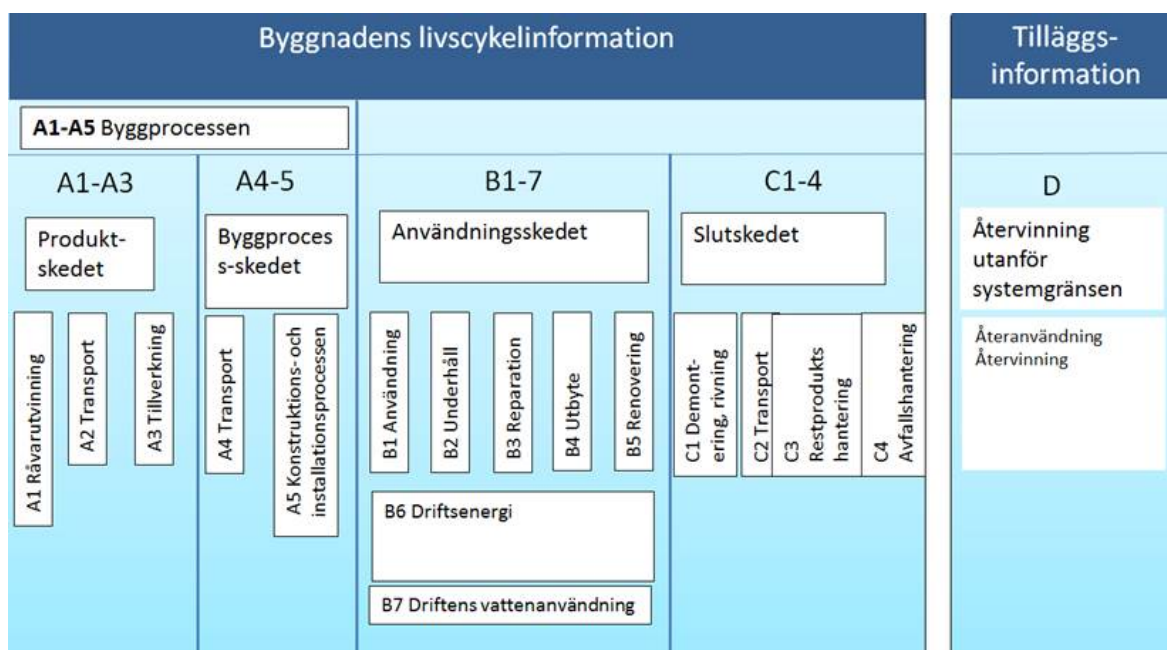
På grund av denna utveckling var det naturligt att i det tidigare SBUF-projektet (Liljenström m.fl., 2015 - Blå Jungfrun) i möjligaste mån följa metodiken i EN 15978 och EN15804. I den här studien har vi valt att arbeta på samma sätt.

2.3 Modulindelningen i CEN standarderna

I CEN-standarderna är byggnadens systemgränser uppdelade i så kallade livscykelkedena (A, B, C och D) som i sin tur är indelade i så kallade informationsmoduler (A1, A2..., B1, B2..., o.s.v.), se figur 2. Modul D innehåller tilläggsinformation om konsekvenser från framtida återvinning och är frivillig.

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 som tidigare beskrivits 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 redovisas separat och inte jämföras med eller läggas ihop med övriga moduler.



Figur 2 Byggnadens livscykelkedan 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 räknas samman. Detta förhållningssätt följer de europeiska standarderna EN 15804 och EN 15978.

Transport till byggplatsen (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 byggplatsen, 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 upparbeitungsprocesser 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. 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 flera olika miljöpåverkanskategorier i en LCA. För t.ex. processer som tar mycket mark i anspråk bör markanvändning och biodiversitet även utvärderas med syftet att ge en bättre helhetsbild av miljöpåverkan. Tyvärr saknas dock allmänt accepterade metoder för dessa miljöaspekter idag.

I den här studien beräknas enbart klimatpåverkan på grund av begränsad budget. Det finns en risk med studier som bara hanterar en eller ett fåtal miljöpåverkanskategorier att det resulterar i problemförflyttning, dvs. att man missar viktig miljöpåverkan (Finnveden et al., 2009). Fortsatta studier inom andra påverkanskategorier är därför av vikt framöver.

Tabell 1 Miljöpåverkanskategorier samt -indikatorer enligt EN 15978.

Miljöpåverkanskategori	Enhet
Klimatpåverkan	kg CO ₂ e.
Ozonuttuning	kg CFC 11e
Försurningspotential	kg SO ₂ e
Övergödningspotential	kg (PO ₄) ³ -e
Bildning av marknära ozon	kg C ₂ H ₄ e
Abiotisk resursförbruknings, mineraler	kg Sbe
Abiotisk resursförbruknings, fossila råvaror	MJ

"e" står för ekvivalent

2.4.1 Beräkning av klimatpåverkan

Standardförfarandet för att bedöma olika klimatpåverkande gasers bidrag till växthuseffekten är att räkna om dem i kg fossila CO₂-ekvivalenter. När dessa koldioxidekvivalenter skall beräknas integreras olika gasers strålningseffekt över en hundraårsperiod, GWP 100 erhålls då. GWP 100 (Global Warming Potential) beskriver därmed det potentiella bidraget till växthuseffekten

integrerat över en 100 årsperiod, beräknat enligt IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Detta mått på CO₂-ekvivalenter används i denna studie. De viktigaste klimatpåverkande gaserna är lustgas (N₂O), metan (CH₄) och koldioxid (CO₂) (IPCC, 2007). Utsläpp av växthusgaser inkluderar förbränning av fossila bränslen vid olika processer för tillverkning av byggmaterial, elproduktion och maskinanvändning samt processemissioner såsom den avgång av CO₂ 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 CO₂-utsläpp och -upptag hanteras i beräkningarna av klimatpåverkan. Det finns en viktig skillnad mellan s.k. biogen och fossil koldioxid. Enligt USAs Naturvårdsverk lyder definitionen av biogent CO₂-utsläpp: *”Biogena CO₂-emissioner är definierade som CO₂-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 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 metanenligt 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 räknas samman. 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). D.v.s. 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, beräknas 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. ProduktstandardEN 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.

Livscykelkedan		1. Enligt EN 15804	2. Enligt PCR för träprodukter	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
Totalt 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 CO₂ 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 ett av två uppförda flerbostadshus med 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 (så kallat KL-trä). Bottenplanet och garage är uppförda med prefabricerade betongelement.

Det analyserade huset har 33 lägenheter med en uppvärmd yta A_{temp} på 3982 m², garagearean är 704 m² och inrymmer 25 parkeringsplatser, vilket motsvarar ett p-tal på 0,76 och byggnaden har en biutrymmesarea på 544 m².



Figur 3 Tvärsnitt samt relationshandling fasad söder och öster.

Husets grund är anlagd på en packad sprängbotten och borrade stålrörspålar. Huset ligger i en slänt ner mot Bällstaviken och bland annat av detta skäl behövdes 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 trä-husen i Strandparken. Ovanför källarbjälklaget ligger ett lager EPS-betong. Bärande konstruktioner, väggar och bjälklag ovanför garaget består av korslimmade trärelement (KL-trä) som levererats av Martinsons², se figur 5 för bild på typmellanbjälklag. 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.

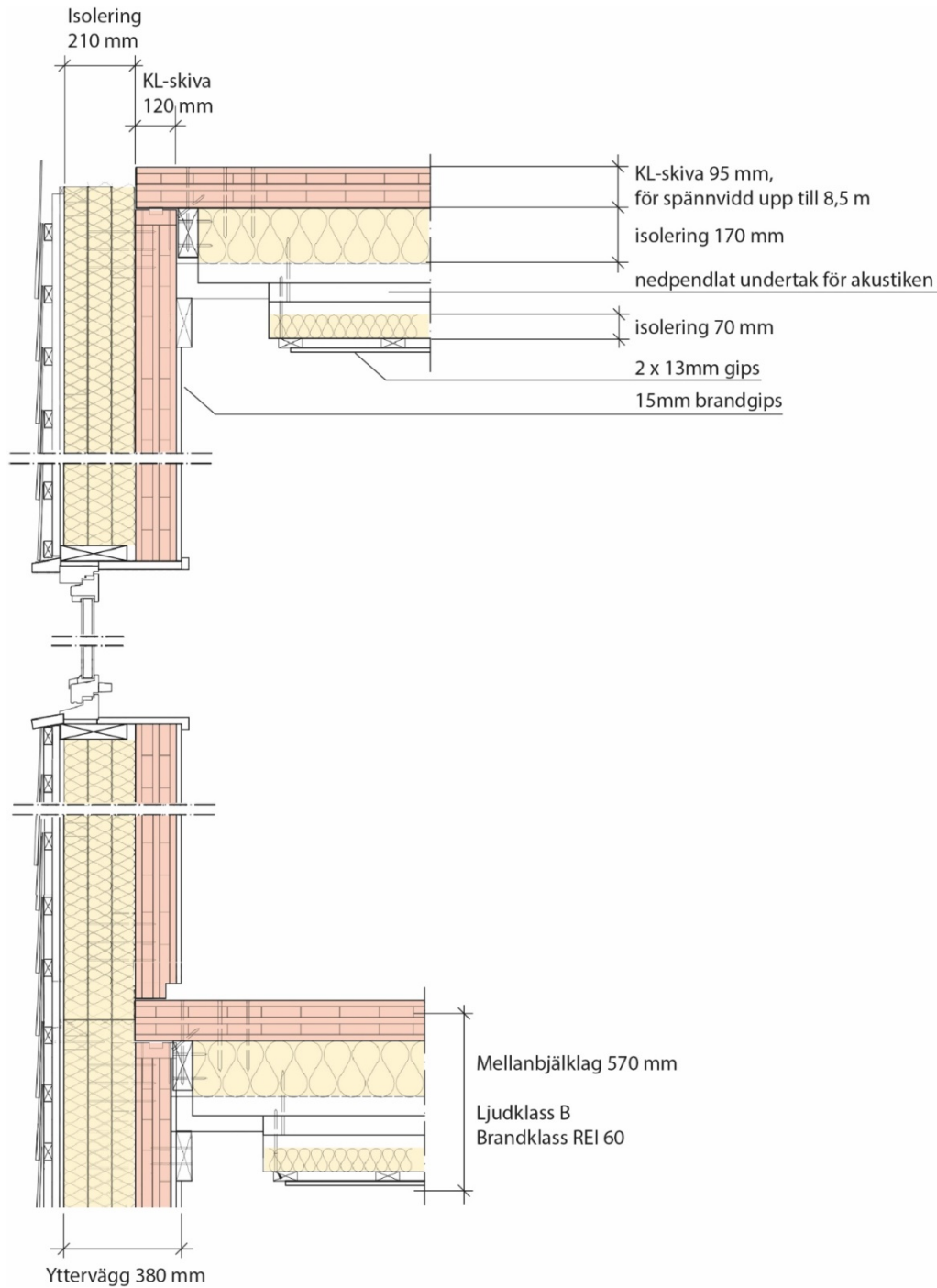


Figur 4 Relationshandling våningsplan 3-6.

² <http://www.martinsons.se/>

Projekterad energiprestanda enligt konstruktionshandlingarna uppgick till $75 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ 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 $110 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år. Uppmätt justerad energianvändning är $65 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år inklusive garage där garaget står för $2 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ 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.

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 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 den mest vanligt förekommande analysperioden som användes i cirka 50 procent av 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

Bygghet		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

Materialspecifikationen för byggnaden var utförd i kalkylberäkningsprogrammet BidCon, vilket till stora delar bestod av så kallade underentreprenörsposter, vilka inte beskriver vilka byggprodukter som ingår. Därför gjordes en kompletterande mängdberäkning av materialen med hjälp av konstruktionsritningar i kalkylberäkningsprogrammet Sektionsdata. Installationsdelarna mätades separat för hand. Dessa installationssystem 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 flerbostadshuset. 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 byggplatsen (modul A4)

Beräkningarna inkluderar transporter av material till arbetsplatsen. Uppgifter för transport av maskiner till byggplatsen samt godsskador ingår ej. Transportavstånden för materialen är fördefinierade i beräkningsmjukvaran och är olika beroende på material (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 byggplatsen.

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 produktionsskedet. 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 på uppgifter om spill per produkt baserat på de uppgifter som fans i kalkylen. Det spill som uppstår utgör en miljöpåverkan för att tillverka och transportera det "extra materialet" till bygget samt att hantera spillet 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 materialemissioner i B1 som påverkar klimatpåverkan

4.1.5 Underhåll och utbyte (modul B2 och B4)

Beräkningarna omfattar yttre underhåll och utbyte. Även byte av betydande invändiga system då dessa bedöms passera sin livslängd är medtagna, dvs. el, VVS, ventilation och hisssystem. Modulerna B3 (reparation), samt B5 (renovering), omfattas inte eftersom renovering och reparation är behäftade med stora osäkerheter.

Dokumentationen av byte och underhåll är begränsad men kan erhållas från rapporter om livslängd på byggnaders material och system. En av de mest omfattande rapporterna är IVL:s sammanställning av livslängd och underhåll gjord av Erlandsson och Holm (2015) vilken användes

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 bytesintervall sammanställdes den längsta och den kortaste livslängden för de olika byggprodukterna för att sedan beräkna en medellivslängd som har använts i LCA-beräkningarna. Data för kortaste och längsta livslängden har används för känslighetsanalysen. I enlighet med EN 15978 fördelas inte miljöpåverkan för hela bytet av en komponent till byggnaden om dess livslängd överstiger den valda analysperioden (50 respektive 100 år). Istället beräknas klimatpåverkan per år och komponent först och därefter multipliceras denna med antal år för den valda analysperioden. Observera att detta förfaringssätt skiljer sig från hur byte av komponenter beräknades i studien av Blå Jungfrun.

I tabell 5 visas de komponenterna som har bedömts bytas ut under byggnadens livslängd. 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			
		Kortaste livslängd (år)	Längsta livslängd (år)
Tak	Cederspån	25 ⁸	50 ⁹
	Dubbelfalsat förzinkad stålplåt	30 ¹	60 ¹
	Underlagspapp	25	50
	Takfönster, träkarmar	15 ³	30 ³
	Stuprännor/stuprör	21 ²	40 ⁴
	Övrig utsatt takplåt	21 ²	40 ⁴
Fasad	Cederspån	50 ⁸	100 ⁹
	Fönster	30 ⁷	60 ⁷
	Balkongdörrar, alu/glas	35 ⁴	50 ⁵
	Plåtdörrar	21 ²	40 ⁴
	Glasfönster	30 ⁷	60 ⁵
Installationer	Elsystem	45 ⁴	50 ¹³
	Ventilation	50 ¹³	70 ¹³
	VS rör	50 ¹¹	119
	Sprinkler	25 ¹⁹	50 ¹²
	Hissar	25 ¹⁰	30 ¹⁰
	Golvvärm	30 ⁴	50 ¹³

Referenser: 1: (BCIS, 2006), 2: (Burström, 1999), 3: (REPAB, 2010), 4: (SABO, 2015) 5: (IEMB, 2008), 7: (LVB, 2011), 8: (Moelven, n.d.), 9: (Moelven, 2015), 10: (KONE, 2015), 11: (Uponor, 2015) 12: (LK plex, 2015), 13: 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 ¹	15 ²
	Takfönster, träkarmar	Helrenovering	15 ²	20 ²
	Övrig utsatt takplåt	Ommålning	7 ¹	15 ¹
Fasad	Fönster	Målning	5 ¹	15 ²
	Entrédörrar	Täckmålning	10 ²	16 ²
	Plåtdetaljer	Ommålning	7 ¹	15 ¹

Referenser: 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 byten av system och komponenter 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/m² A_{temp} och år är enligt erfarenhetsvärden för lågt och ansätts till Svebys 25 kWh/m² A_{temp} och år.
- Uppmätta data för fjärrvärme omfattar både tappvarmvatten och värme och den del som går till uppvärmning är bedömd till 21,3 kWh/m² A_{temp} och år.
- Fastighetselen korrigeras enligt uppmätta data från Folkhem till 9,15 kWh/m² A_{temp} och år efter att sådan el räknats bort som inte skall ingå enligt BBR i fastighetsel (ursprungligt värde var 18,25 kWh/m² A_{temp} och år).
- Då el-golvvärmens belastar hushållselen, förflyttades denna energianvändning till uppvärmningen. (Enligt BBR ska el-golvvärme eller så kallad komfortvärme ingå i husets totala värmeanvändning).

Resultterande 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 ² A _{temp} 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 överföras till nästa livscykel.

Dagens tekniker för behandling och användning av byggnadsavfall beskrivs i tabell 9. Dessa uppgifter baseras på muntlig information från avfallsexperten 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]
C1 – Demontering		
Förberedande rivningsarbeten	439	4 387
Rivningsarbete	35 094	33 376
Kranarbeten ovan 6 m		2 900
C1 totalt	35 533	40 663
C2 Transport		30 340
C3 Restproduktbehandling		10 230
C4 Deponi		
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 inklusive brandskyddsgips	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.
Korslimmat trä	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.

Material	Hantering
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 Alternativa byggnadsutföranden

För att bedöma garagets påverkan på resultatet samt möjliggöra jämförelser med byggnader utan garage beräknades klimatpåverkan för byggprocessen (A1-A5) 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.

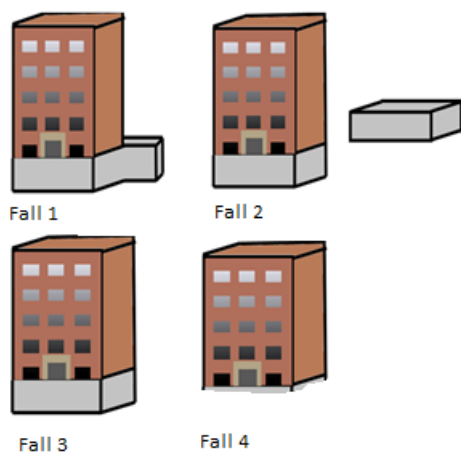
Fall 3 Byggnaden med plan 0, utan garage

Enligt fall 2 men helt utan garaget.

Fall 4 Byggnaden med platta på mark, 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.. 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 m².



Figur 7 Principskiss för olika garage- och källarutföranden.

4.3 Alternativa energilösningar

Byggnaden är uppförd med energiprestandan $65 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år. Nedan anges potentiell energi -förbättringar och försämringar från det ursprungliga energibehovet.

Huset som lågenergihus med energibehovet $55 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år

För att uppnå ett teoretiskt energibehov på $55 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år kan nedanstående åtgärder utföras:

- Systemverkningsgraden på FTX höjs med 2 procent, från 63 till 65 procent³.
- Tilläggsisolering om 70 mm extra klimatskiva (s.k. västkustskiva med stenullsisolering) i ytterväggarna. U-värdet bedöms minska från $0,15$ till $0,11 \text{ W/m}^2 \text{ och K}$.
- Fastighetselen ses över och sänks med $1 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{Temp}}$ och år.
- El-golvvärmerna i badrummen tas bort, det ger en besparing på cirka $5 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ 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. Den förbättrade energiprestanda på 55 kWh/m^2 motsvarar passivhuskraven enligt till FEBY 12.

Huset dimensionerat för ett energibehov på $80 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år

För att uppnå ett teoretiskt energibehov på $80 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ 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 $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ och K}$.

³ FTX kan idag uppfylla en systemverkningsgrad på 85%.

Dessa åtgärder innebär en något minskad mängd isoleringsmaterial.

Slutligen var avsikten att göra motsvarande beräkning för byggnaden dimensionerad för ett energibehov på 90 kWh/m² A_{temp} och år. Detta alternativ bedöms emellertid över huvud taget inte rimligt att bygga. Om FTX-aggregatet tas bort beräknas energianvändningen öka till 105 kWh/m² A_{temp} 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 används i Strandparken finns miljödata i IVL Miljödata 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 Miljödata Bygg är s.k. generiska LCA-data för den svenska marknaden. Produktspecifika EPD data har används för KL-trä, cederpaneler, stålrörspålar och betongen till stödmuren. För övriga betongtyper användes generiska LCA-data från IVL Miljödata 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 byte av installationer och fasadmaterial har generella data från IVL:s miljödata mestadels använts. Bytet av cederträ är beräknat med EPD av FP Innovation (2014) med tillagda transporter samt med ett tillägg av brandimpregnering på tak och våning 1. Även för fönster har EPD data använts.

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 ₂ e/kWh el resp. värme)
El	El med hög andel förnybara bränslen	7,8
	Nordisk medelelmix	160
	El med låg andel förnybara bränslen	327
Fjärr- värme	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	Beskrivning
Scenario låg	Fjärrvärme med hög andel förnybart bränsle och el med hög andel förnybart bränsle
Scenario medel	Svensk medelfjärrvärme och nordisk medelelmix
Scenario hög	Storstadsfjärrvärmennät och el med låg andel förnyelsebara bränslen

4.4.5 Miljödata för slutskedet (modul C1-C4)

Inventeringsdata inom modulerna C1-C4 baseras på Erlandsson m.fl. (2015). Energianvändningens miljöpåverkan har räknas om till klimatpåverkan baserat på data för nordisk elmix och förbränning av maskinbränslen från Ecoinvent v 2 (Rischknecht R. et al., 2005).

4.4.6 Metodmässiga skillnader mellan Strandparken och Blå Jungfrun

Nedan redogörs för de metodmässiga 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.

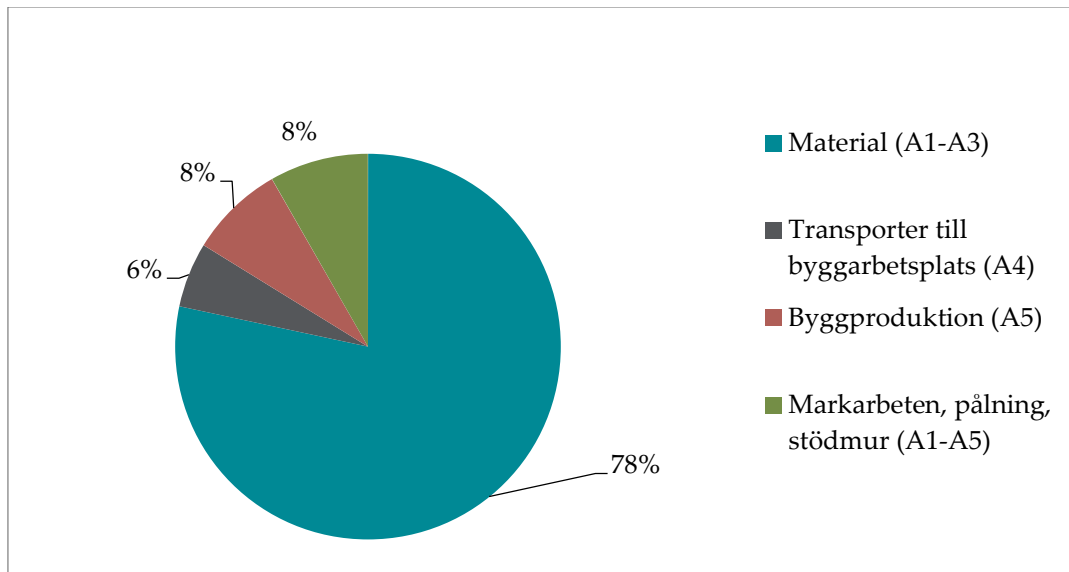
- Produktskede (modul A1-A3): Markförstärkningen såsom pålning är inte beräknad i Blå Jungfrun. Inte heller någon stödmur behövdes. Hissar ingick inte i beräkningarna för Blå Jungfrun.
- Produktskede (modul A1-A3): I Blå Jungfrun-studien kopplades kalkyldata direkt till miljödata med undantag av några 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 med energiprestandan $65 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ år. 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 $12 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$.



Figur 8 Byggprocessens klimatpåverkan för hus (modul A1-A5) inklusive garage (fall 1 inklusive markarbete).

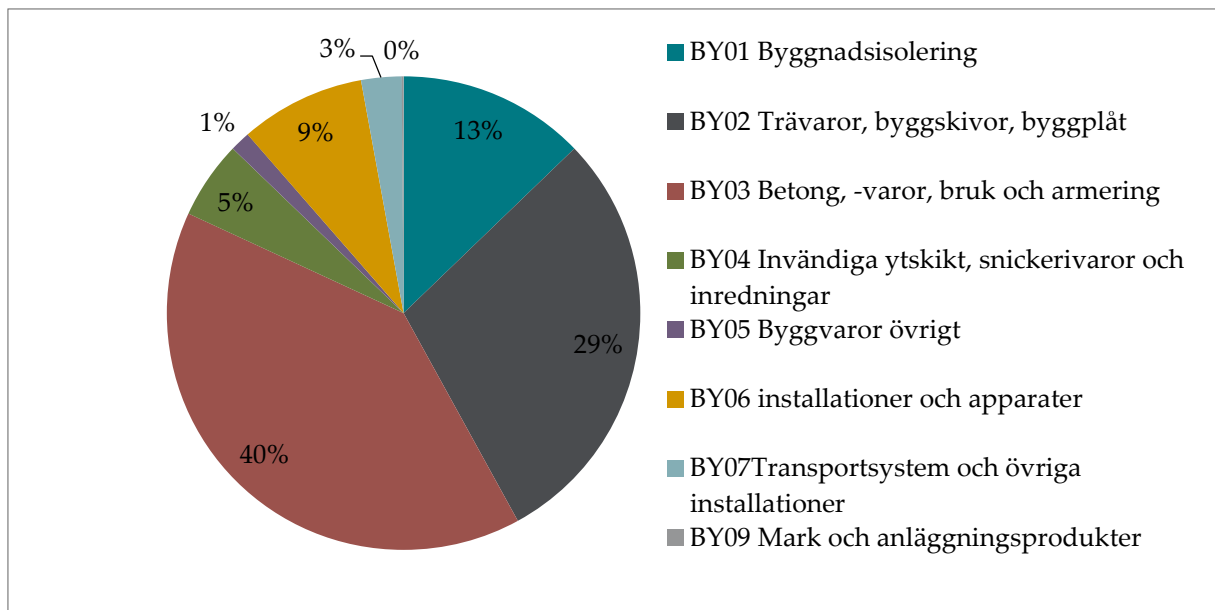
Tabell 12 Byggprocessens klimatpåverkan för hus (modul A1-A5) inklusive garage fördelat på olika poster (fall 1 med och utan markarbete).⁴

Modul	Klimatpåverkan [kg CO ₂ e]	Klimatpåverkan [kg CO ₂ e/ m ² A _{temp}]
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, -varor, bruk och armering (BY03), det vill säga betong i grund,

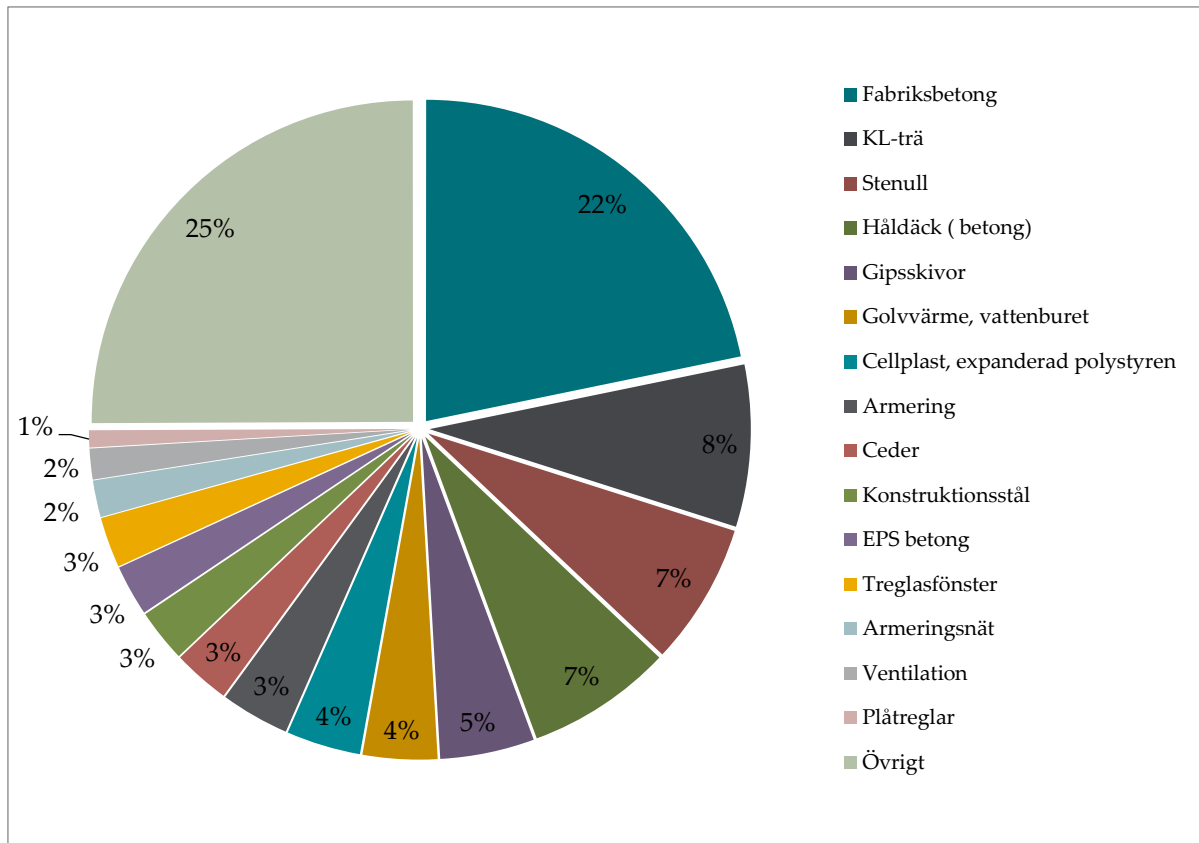
⁴ Vi har över lag valt att redovisa klimatpåverkan för byggprocessen totalt och inte utslaget per år. De figurer vi visar över hela livscykelns klimatpåverkan för två analysperioder (50 respektive 100 år) visar tydligt att den relativa påverkan av byggprocessen minskar med en längre analysperiod. Men 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.

garage- och källarvåning (plan 0). Andra betydande varugrupper är trävaror, byggskivor och byggplåt (BY02) samt Byggnadsisolering (BY01).



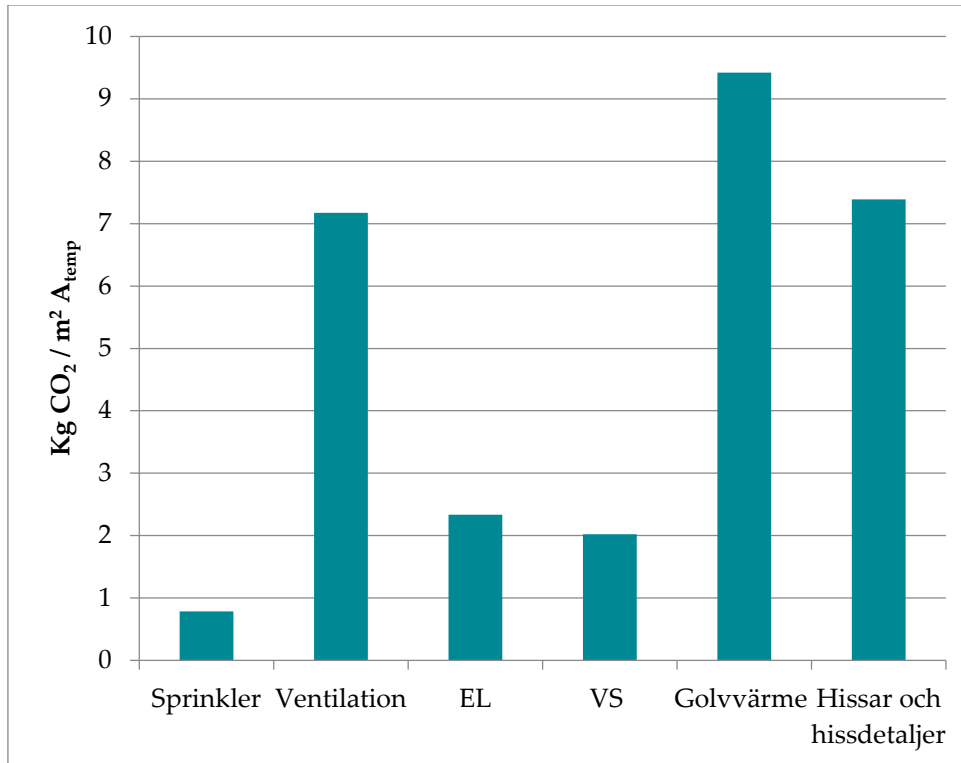
Figur 9 Klimatpåverkan fördelat på varugrupper inklusive materialproduktion (modul A1-3, transport till byggplats (modul A4) samt produktion av uppkommet spillmaterial (modul A5). Inklusive garage men exklusive markanläggningsmaterial (fall 1 exklusive markarbete).

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 sammantaget för 16 procent av den totala klimatpåverkan kopplat till materialproduktion för byggnaden. Den stora posten övrigt i figur 10 omfattar en stor mängd material och komponenter som enskilt har låga bidrag till klimatpåverkan.



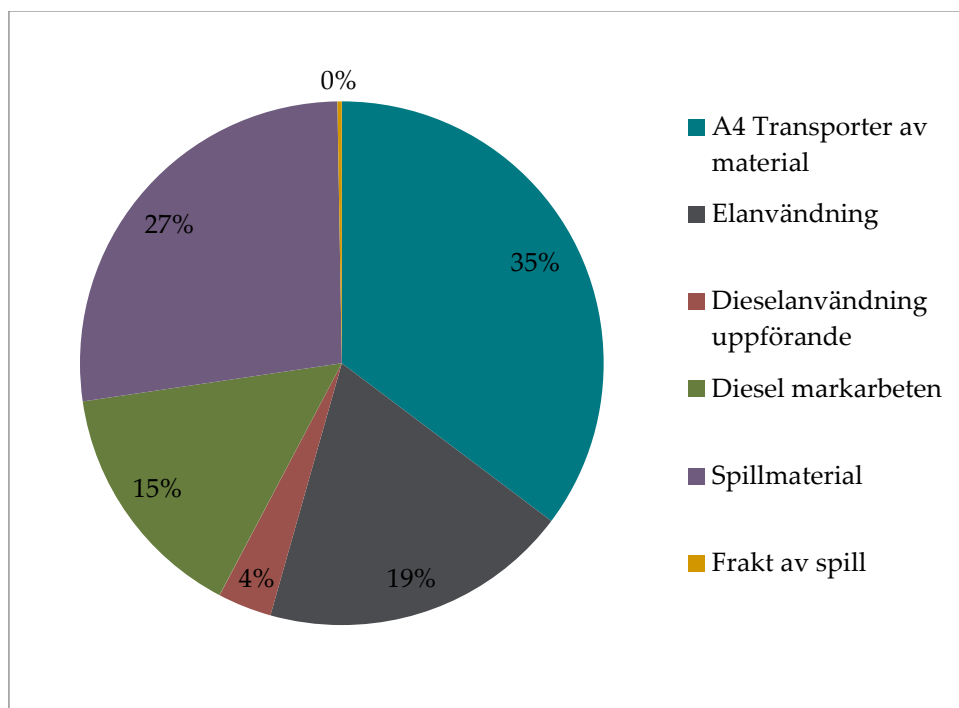
Figur 10 Klimatpåverkan fördelat på olika material inklusive materialproduktion (modul A1-3, transport till byggplats (modul A4) samt produktion av uppkommet spillmaterial (modul A5). Inklusive garage men exklusive markanläggningsmaterial (fall 1 exklusive markarbete).

Av figur 10 framgår att installationer (BY06-07 i figur 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 golvvärmens samt hissarna som ger stora bidrag.



Figur 11 Klimatpåverkan, kg CO₂e/m² A_{temp}, 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 Figur 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.

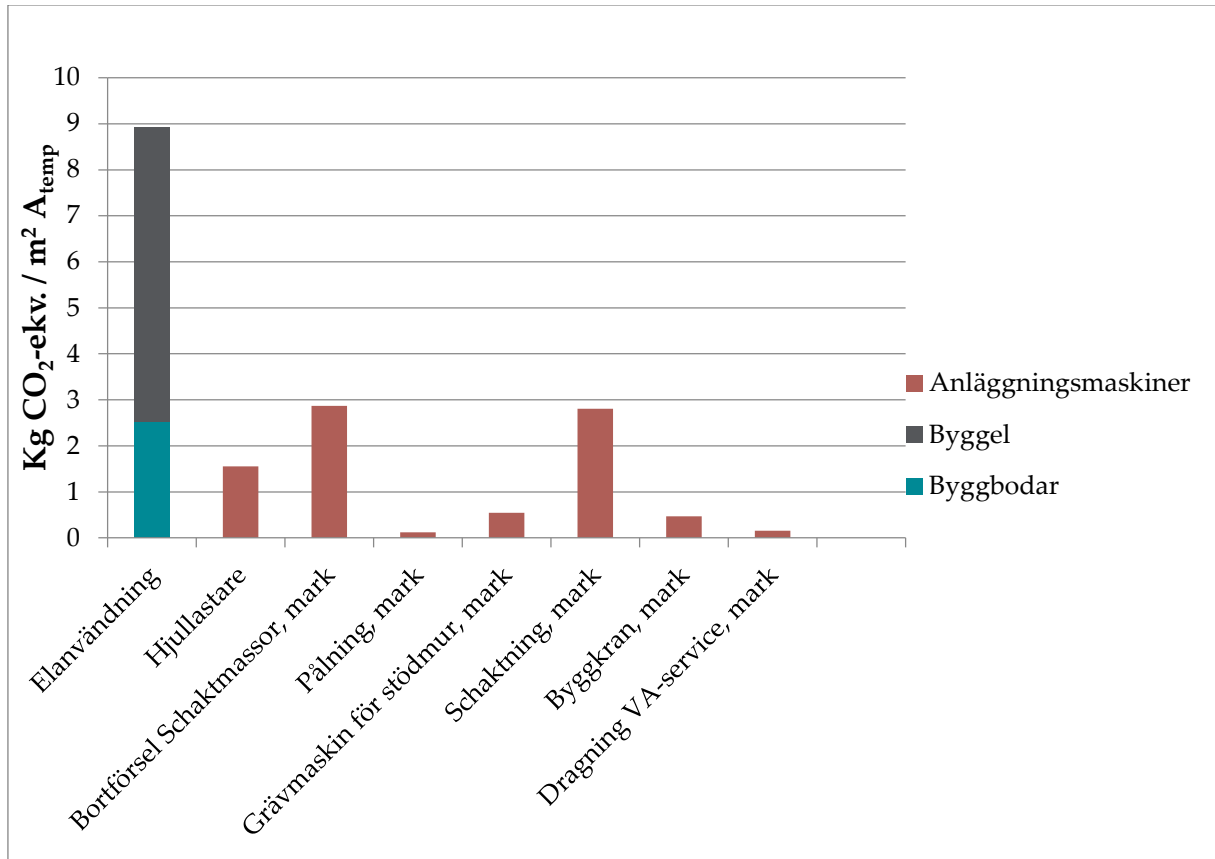


Figur 12 Klimatpåverkan för Strandparken fördelat på olika delposter kopplat till byggarbetsplatsen (modul A4-A5) inklusive markarbeten och garage (fall 1 inklusive markarbete).

Tabell 13 Klimatpåverkan för Strandparken fördelat på olika delposter kopplat till byggarbetsplatsen (modul A4-A5), fall 1 inklusive markarbeten och garage.

A4 och A5 inklusive markarbeten		
	[kg CO ₂ ekv.]	[kg CO _{2e} /m ² A _{temp}]
A4 Transporter av material	65 000	16
A5		
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 figur 13 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 överskottsmassorna.

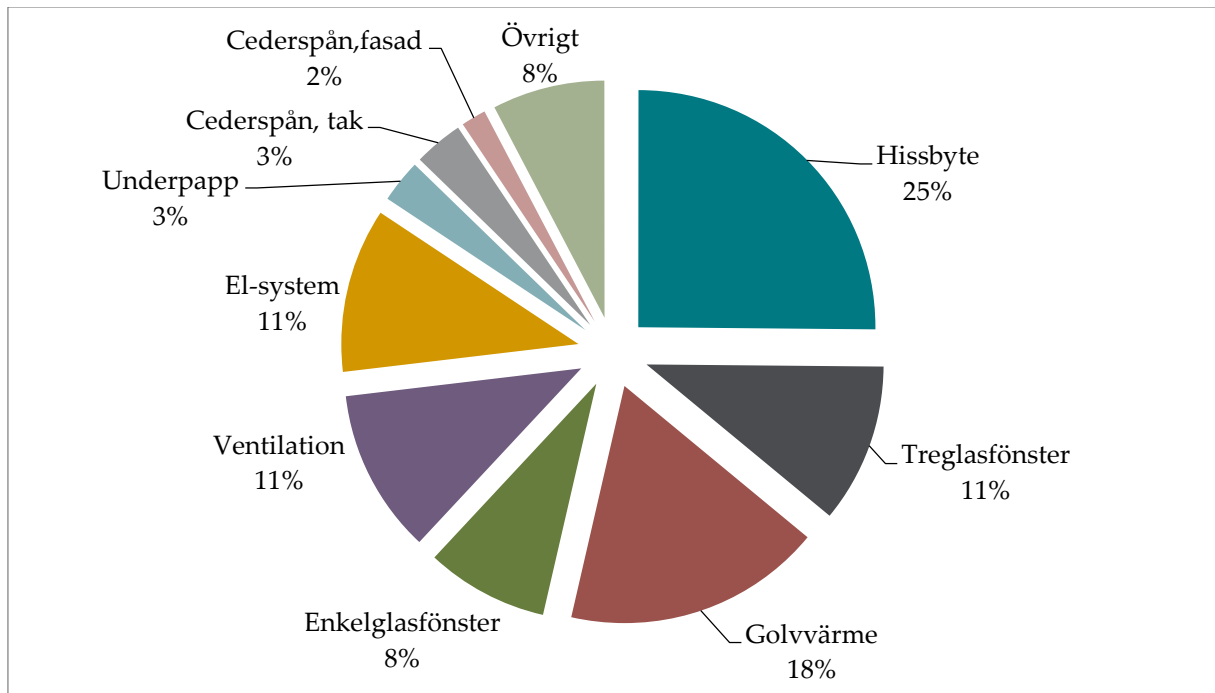


Figur 13 Klimatpåverkan kopplat till el och dieselanvändning i byggproduktionen (modul A5), kg CO₂e/m² A_{temp}. Posterna med "mark" rör markarbeten.

5.2 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.



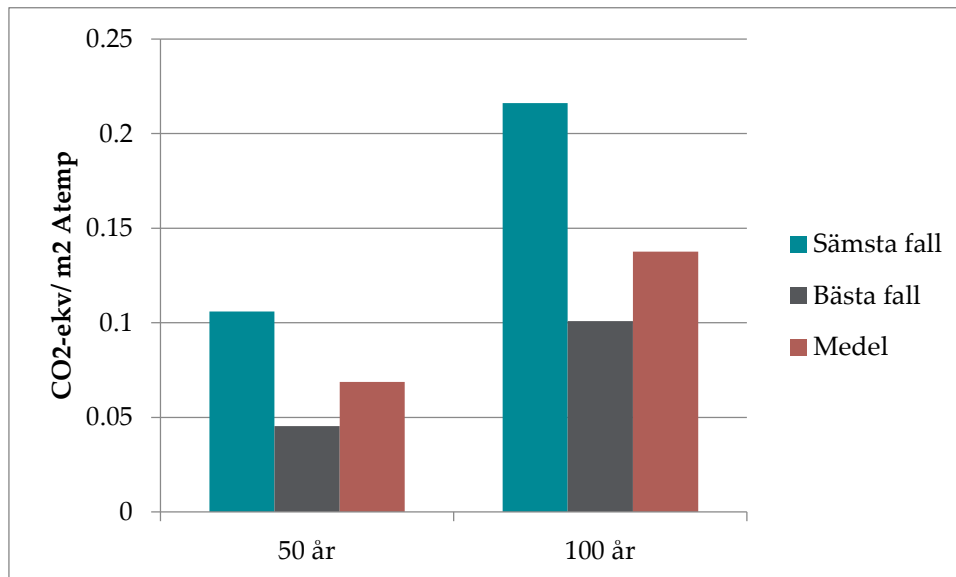
Figur 14 Klimatpåverkan fördelat på olika utbytesposter och underhållsåtgärder över en analysperiod på 50 år samt baserat på medelintervall för underhåll och utbyte.

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

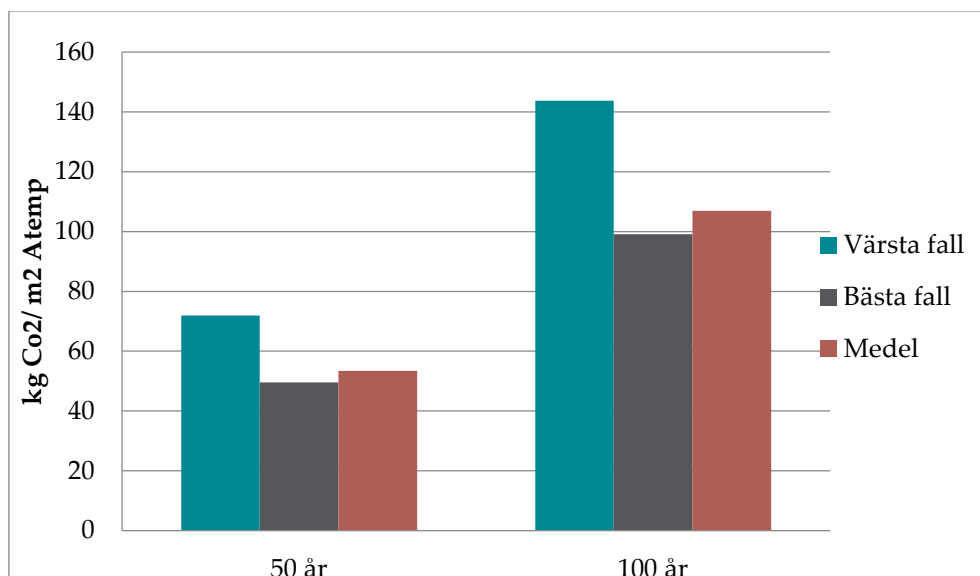
B2 Underhåll, B4 utbyte				
	50 år		100 år	
Åtgärd	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ² A _{temp}	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ² A _{temp}
Underhåll (modul B2)				
Målning plåtdörrar	1	0	2	0
Målning takplåt	274	0,07	548	0,14
B2 Totalt	275	0,09	550	0,14
Utbyte (modul B4)				
Hissbyte	53 000	13	106 000	27
Treglasfönster	23 000	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

B2 Underhåll, B4 utbyte				
Cederspån, tak	7 000	2	14 000	4
Cederspån, fasad	4 000	1	8 000	2
Övrigt	16 000	4	32 000	8
B4 Totalt	213 000	53	426 000	107

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 välja ett lägsta respektive högsta tänkbara underhållsintervall för ingående material, komponenter och system. 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 CO₂e/m² A_{temp}).

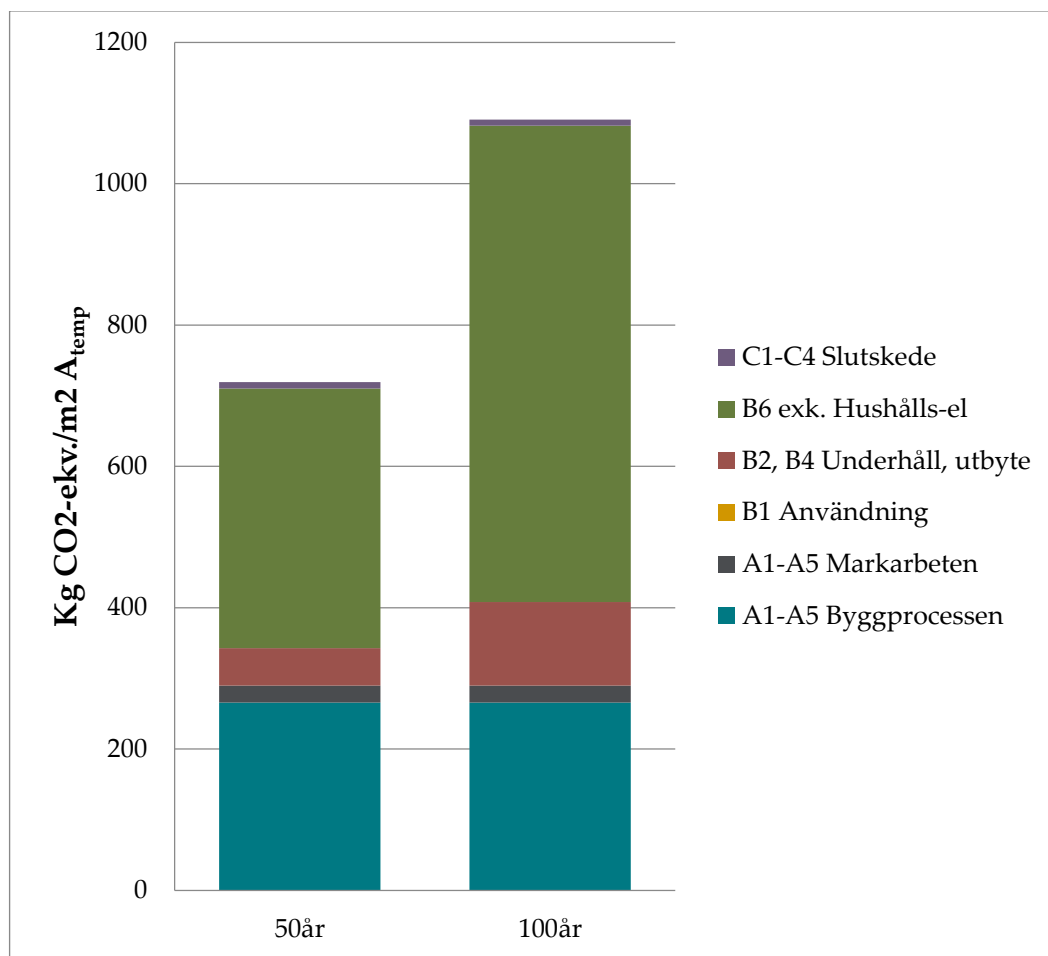


Figur 16 Känslighetsanalys på utbyte (modul B4) baserat på val av livslängder för olika byggdelar.

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 CO₂ som lagras i byggnaden under husets livslängd uppskattades till 1 270 000 kg eller 319 kg CO₂/m² A_{temp}. Detta bygger på ett antagande om en medeldensitet hos trämaterialen på 390 kg/m³ och upptag under virkets uppväxt av 715 kg CO₂/m³.



Figur 17 Klimatpåverkan (kg CO₂ek/m² A_{temp}) för Strandparken (fall 1 inklusive mararbete) fördelat på olika livscykelkedan. Analysperiod 50 respektive 100 år. Energiscenario modul B6: 65kWh/m² A_{temp}, medel scenario, exklusive hushållsel. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel⁵.

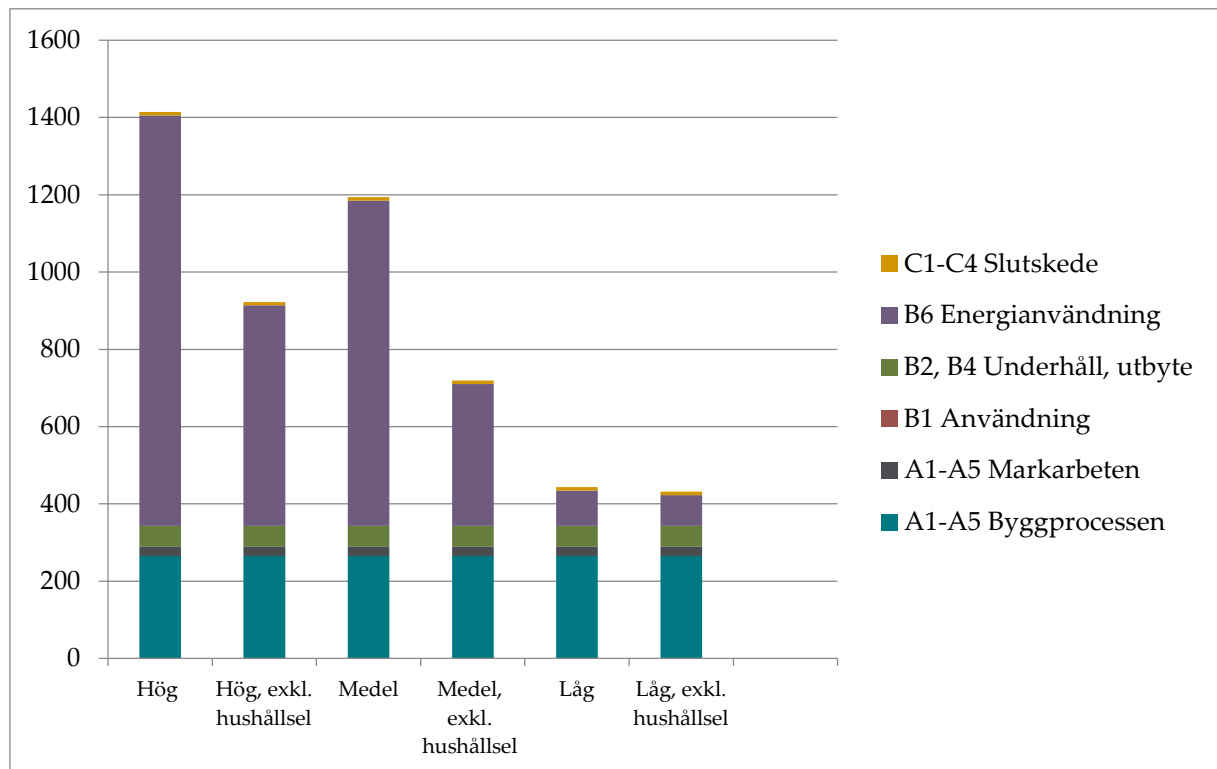
Tabell 15 Klimatpåverkan (kg CO₂e/m² A_{temp}) för Strandparken (fall 1 inklusive mararbete) fördelat på olika livscykelkedan. Analysperiod 50 respektive 100 år. Energiscenario modul B6: medel, exklusive hushålls-el. Underhålls- och utbytesscenario modul B2, B4: medel.

Modul	Klimatpåverkan 50 år		Klimatpåverkan 100år	
	kg CO ₂ e	kg CO ₂ /m ² A _{temp}	kg CO ₂ e	kg CO ₂ -e/m ² A _{temp}
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
Totalt exklusive markarbeten	2 766 000	695	4 481 000	1 055
Markarbeten och grundläggning (modul A1-A5)	96 000	24	96 000	24
Totalt inklusive markarbeten	2 862 000	719	4 296 000	1 079

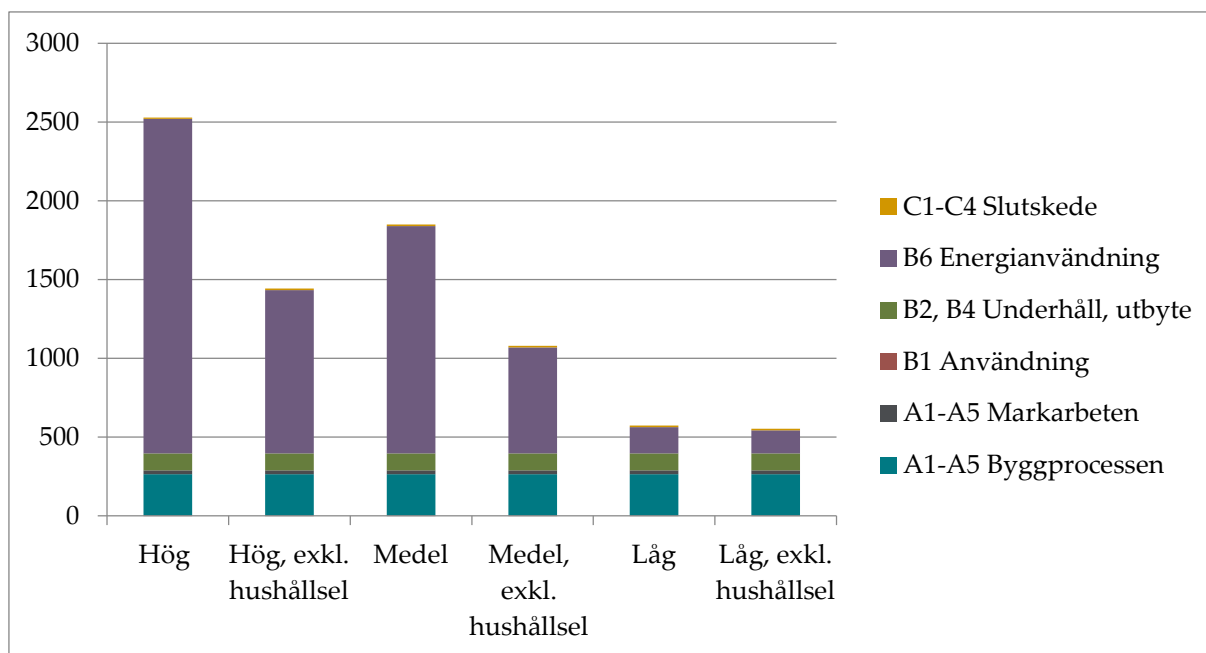
⁵ Observera att modul B1 användning är så liten i sammanhanget att den inte syns i diagrammet. Se vidare tabell 15.

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 30-62 procent 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 hushållsel. Underhåll och utbyte (modul B2, B4) och 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 en viss mängd energi används årligen och adderas för varje år som 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_{2e}/m² A_{temp} eller 27 procent av uppströms klimatpåverkan. Ett externt garage skulle däremot resultera i en något högre klimatpåverkan, 83 kg CO_{2e}/m² A_{temp} 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_{2e}/m² A_{temp}.

Tabell 16 Uppströms (byggprocessens) klimatpåverkan för Strandparken i kg CO₂e/m² A_{temp} beräknat för originalutförandet samt tre teoretiska, alternativa utföranden avseende garage och bottenplan. Observera att Fall 4 har 350 m² mindre A_{temp} (fall 1, 2, 3 och 4 med och utan markarbete)

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

En alternativ lösning med förbättrad energiprestanda har beräknats teoretiskt. Då huset teoretiskt dimensioneras för 55 kWh/m² A_{temp} 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 CO₂e/m² A_{temp}. 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/m² A_{temp} och år (fall 2 i avsnitt 4.3) ger minskningen i isolering 0,3 kg CO₂e/ m² A_{temp}. Åtgärder med förändrad systemverkningsgrad på FTX-systemet, fönster och elgolvvärme antas som försumbara i relation till minskad materialåtgång.

6. Diskussion

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. Det ökande intresset för trähusbyggande i flera våningar har också lett till en intensifierad debatt kring för respektive nackdelar i allmänhet med denna typ av konstruktionsval. Det finns andra aspekter av byggande med trä som inte beaktats i denna studie, som är viktiga för byggnadens funktion som helhet och som bör utforskas mer. På samma sätt är studien begränsad till klimatpåverkan varför inga slutsatser angående andra miljöaspekter kan dras.

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).

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 CO₂e/m² A_{temp} 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 CO₂e/m² A_{temp}.

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

användes 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 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 med trästomme.

Elanvändningen under byggproduktionen är hög med 290 MWh där drygt 35 procent utgörs av elförsörjning till byggbodarna. Övrig bygge 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 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 innebar 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_{2e}/m² A_{temp}, 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_{2e}/m² A_{temp} 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.

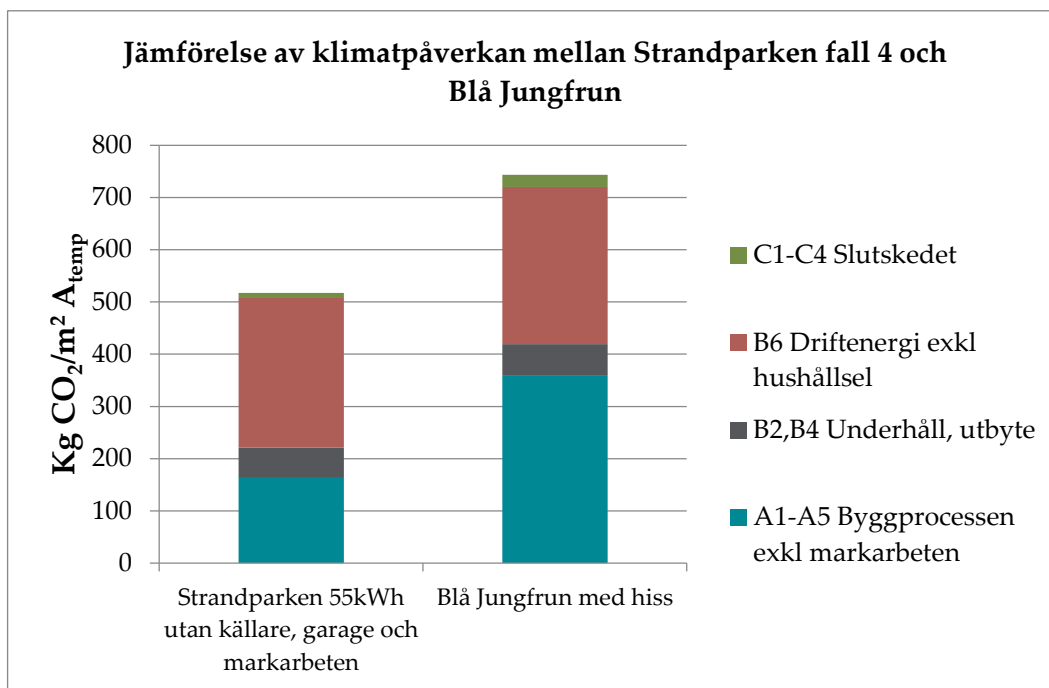
Det bör också tilläggas att data för byggproduktionen, modul A5, har tagits fram på något olika sätt för de två studierna och att det kan finnas osäkerheter kring hur giltiga de data som tillhandahållits av byggherrarna för modul A5, är. Till sist är beräkningarna i båda fallen gjorda för husen så som de är byggda utan att gå in på huruvida de eventuellt funktionsmässigt skiljer sig åt (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 tas upp här. 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. Dessutom modifieras Strandparken med följande teoretiska förändringar av utförandet för att kunna jämföra de två fallen:

- Strandparken modifieras som lågenergihus med energianvändningen 55 kWh/ m² A_{temp} med de åtgärder som beskrivits 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. Lokaldelen, 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 inte eftersom detta inte har beräknats i Blå Jungfrun-studien.

Observera också att detta teoretiskt modifierade utförande av Strandparken ("Strandparken 55 kWh, fristående och utan garage" i figur 20) har mindre A_{temp} 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 (fall 4 exklusive markarbete) och Blå Jungfrun (så den är byggd och tidigare oanalyserad hiss). 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 CO₂e/ m² A_{temp}). Observera att för en rättvisande jämförelse skall Blå Jungfrun jämföras med "Strandparken 55 kWh, fristående och utan garage". Energiscenario modul B6: medel, exklusive hushållsel. Underhålls- och utbyttesscenario modul B2, B4 för Strandparken: medel.

Modul	Fall 1: Strandparken i originalutförande med garage	Fall 4: Strand- parken 55 kWh/m ² , fristående utan garage	Blå Jungfrun så som den är byggd (original- utförande)
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 CO₂e/ m² A_{temp}. 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 till 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.

Klimatpåverkan från driftens energianvändning skiljer sig något åt 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/m² fristående utan garage" i tabellen ovan förklaras av olika antal m² A_{temp} och olika energiprestanda. I slutskedet åtgår mer bränsle för krossning och transport i Blå Jungfrun, till följd av viktmissiga skillnader för betongen, vilket medför 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 m³.

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 Cementa kring Riksbyggens projekt BRF Viva i Göteborg anges att betydande besparingar uppnås genom att bland annat använda 35 procent flygaska som cementsättningsprodukt 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 cementsättningsprodukter 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 allokeringsmetoder. Om andra allokeringsmetoder används som allokerar del av det jungfruliga stålets miljöpåverkan på använt återvunnet armeringsstål, minskar denna besparing. Även de restprodukter som används som cementsättningsprodukter bör få en del av tillverkningens miljöpåverkan genom andra metodval vid allokering, tex baserat på naturvetenskapliga grunder istället för ekonomisk allokering. Den ekonomiska allokeringen ger cementsättningen i det närmaste 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 ($\text{kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$) 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 $\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ per lägenhet mellan objekten Strandparken och Blå Jungfrun inte är särskilt stor. Strandparken har aningen större lägenheter.

Slutligen kan kommenteras att jämförelsen mellan Strandparken i originalutförande samt den med en teoretiskt modifierad utformning 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 produkt- och byggprocesskedet 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.

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 CO₂e/m² A_{temp} för en analysperiod på 50 år och medelscenarier för driftens energianvändning och utbyte. Byggprocessen står för 265 kg CO₂e/m² A_{temp}, 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 trähus 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 CO₂e/m² A_{temp}. 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 55 kWh/m² A_{temp} 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. Klimatpåverkan är en 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 viktig fråga att beakta i det fortsatta arbetet.

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 källarlokalerna 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.

8. 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 (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-nollenergibygnader*. 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 and evaluation of EN 15804 Bibliographic data*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2101. ©SPC Regiutvecklare för construction products

Erlandsson, M., Holm, D., 2015. *Beständighetsrapport*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2292.

Erlandsson, M., Lindfors, L., Jelse, K., 2013. *Robust LCA livscykelanalys (LCA) - introduktion för nyfikna*. Stockholm, Sverige: IVL. Rapport B2121. © : Metodval för robust

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., Huppes, 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/Stalpalor/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/ (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 (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_lit_tet_format.pdf (accessed 3.14.16).
- Sveriges Byggindustrier & IVA, 2014. *Klimatpåverkan från byggprocessen*. Stockholm, Sverige: Kungliga vetenskapsakademien. 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-tjaenster/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 m³, enligt ritningar K-14.1-011 samt k-14.0-001. Dimensioner, av stödplattor och stålkvalitet gavs av Rukki (2013)

Stödmur

Stödmuren ingick också beräkningarna. Den biten som allokerades till hus B och garage var 35 m (enligt ritning, där enbart hus B står för 12 m) av 270 m totalt. Tvärsnittsarean på stödmuren är 3,67 m². Detta medför mängderna 44,04 m³ till hus B samt 84,41 m³ garage B.

Golvvärme

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

Material golvvärme		
PE-rör	3.148784	m ³
Aluplåtar	1.28513	m ³
Shuntpumpar	7	st

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. Det som saknas mängder på är sprinklerpump, ventiler, kompressor, trycktank, vattentank, distribuerare.

Arbetsmaskiner

Jordschaktning

Jordschaktnings åtgångstider baseras på grundläggningstidsplan gav 30 dagar totalt för jordschaktning. Uppgifter för maskindata hämtades från (Erlandsson, 2013) för en grävmaskin på 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	m ³	

Enligt uppgift från byggtreprenören bortforslades 3400 m³ 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 ³	Folkhem
Jordmassor	2125	Ton	Densitet 1600kg/m ³
Viktkapacitet	20	Ton	Erlandsson, 2013
Sträcka	10	Km	Antagande
Medelhastighet	40	km/h	Antagande
Väntetid	2	h/runda	Antagande
Antal rundor	106	Rundor	
Tid tot	75		
Pålägg ställtid	0,7		
Bränsleförbruknin	19	l/h	
Bränsleförbruknin	1044	MJ/h	
Tot bränsle	1,4	m ³	

Pålning

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

Pålning			Referens
Grundberedning	20	dagar	Tidsplanering
Arbets tid	8	h/dag	Antagande
Nyttjandegrad	0,9	h/h	Erlandsson, 2013
Bränsleförbrukning	7	l/h	Erlandsson, 2013
Bränsleförbrukning	252	MJ/h	Erlandsson, 2013
Diesel	1,0	m ³	

Stödmursuppförande

Hela stödmuren tog totalt 60 dagar att uppföra (enl. Joakim konsult). Av detta arbete allokerades 6 dagar till garaget och 2,7 till hus B. Samma maskin som användes vid schaktningen antogs utnyttjas för dessa arbeten.

Grävmaskin för stödmur			Referens
Garage	6	Dagar	Allokerat
Hus B	2,7	Dagar	Allokerat
Arbets tid	8	h/dag	Antagande
Nyttjandegrad	0,7	h/h	Erlandsson, 2013
Bränsleförbrukning	14	l/h	Erlandsson, 2013
Diesel garage	0,47	m ³	
Diesel hus B	0,21	m ³	



Lyftkran

Lyftkran används samt 10 dagar bfor stödmur och för att lyfta form och armering (uppgift enligt Folkhems 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 ³
Tot Energi	21 600	MJ/h
CO ₂ utsläpp	1 490	Kg

Hjullastare

Enligt byggentreprenör förbrukades 6 m³ miljödiesel under ett år. Uppförandet för hus B var 120 dagar (enl. tidsplanering).

Hjullastare			Referens
Diesel	1,9	m ³	Folkhem
Energiförbrukning	69 600	MJ	

Bilaga 2: Energianvändning under byggproduktionen, modul A5

Vid uppförandet av huset åtgick 438 000 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]	219 000	18 5640	196 135	204 059	1107432
Fjärrvärmeåtg [kWh]	0	98 479	151 650	255 513	108 000
tot E	219 000	284 119	347 785	459 572	1 215 432
BOA	2 732	3 473	3 495	2 661	8 173
BTA	4 386	4 515	4 659	4 432	11 500
Bodar	10	16	-		
Byggtid	365		-		
Elåtgång/BOA	80	54	56	77	135
Energiåtgång/BOA	80	82	100	173	148
Elåtgång/BTA	50	41	42	46	
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	kWh	(Hatami,2007)
Total Energiförbrukning bodar	40590	kWh	
Övrig el	397410	kWh	
Scenario 2			
E/bod	4000	kWh	(Stockholm Stad, 2012)
Total E bodar	26966	kWh	
Övrig el	411033	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 CO₂ 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 ²)	K-värde	Karbonatiseringsgrad	CO ₂ upptag max (TCC)	kg cement /m ³
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



MAGNOLIA



rikshem

SKANSKA



VVS Företagen



Sustainable innovation



SBUF



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se