2015

# Byggandets klimatpåverkan

## LIVSCYKELBERÄKNING AV KLIMATPÅVERKAN OCH ENERGIANVÄNDNING FÖR ETT NYPRODUCERAT ENERGIEFFEKTIVT FLERBOSTADSHUS I BETONG

CAROLINA LILJENSTRÖM och TOVE MALMQVIST, avdelningen för Miljöstrategisk analys (fms) KTH
MARTIN ERLANDSSON, JOHANNA FREDÉN och IDA ADOLFSSON, IVL Svenska Miljöinstitutet
GUSTAV LARSSON, Skanska Sverige AB, Grön affärsutveckling
MARIA BROGREN, Sveriges Byggindustrier

SVERIGES BYGGINDUSTRIER

# Förord

Klimatpåverkan från byggnaders energianvändning är ett mycket diskuterat och relativt väl utforskat område. Klimatpåverkan från byggprocessen, bestående av materialframställning, byggtransporter och produktionen på byggarbetsplatserna, är dock inte lika väl belyst. I detta projekt har forskare från IVL och KTH tillsammans med representanter från byggbranschen och en brett sammansatt referensgrupp, studerat energianvändning och klimatpåverkan från byggandet av ett flerbostadshus. De har även satt den i relation till energianvändning och klimatpåverkan från byggnadens drift. Byggnaden som studerats är ett av Svenska Bostäders och Skanskas nya hyreshus med lågenergiprofil i kvarteret Blå Jungfrun i Hökarängen i södra Stockholm. Husen stod färdiga 2010 och är förhållandevis representativa för nya flerbostadshus.

Föreliggande rapport är slutrapport i SBUF-projekt nr 12912 ”Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftfasen”. Projektet har finansierats av SBUF, Regeringskansliet, Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), IVL Svenska Miljöinstitutet samt deltagande organisationer och företag. Projektets styrgrupp har bestått av: Johnny Kellner (Veidekke), Jonas Gräslund och Johan Gerklev (Skanska), Karin Byman (ÅF), Larissa Strömberg (NCC) samt undertecknad. I projektets referensgrupp har därutöver ingått Per Westlund och Jan Nordling (IVA), Fredrik Winberg och Klas Partheen (Byggmaterialindustrierna, i projektets slutfas ersatt av Monica Björk), Allan Leveau (Svenska Bostäder), Ola Larsson (WSP), Göran Westerfors (PEAB) samt Anna Jarnehammar (IVL). Datainsamling och beräkningar har utförts av Martin Erlandsson, Johanna Fredén och Ida Adolfsson (IVL), Tove Malmqvist och Carolina Liljenström (KTH) samt Gustav Larsson (Skanska).

Syftet med studien har enbart varit att studera energianvändning och klimatpåverkan, och det är viktigt att understryka att projektgruppen inte tar ställning till olika materials övriga tekniska egenskaper. Exempelvis är brand- och bulleregenskaper samt möjlighet till effektreduktion viktiga egenskaper, men de har inte studeras här.

Delresultat från projektet har publicerats i en arbetsrapport[1] och ingått som underlag i IVA:s och Sveriges Byggindustriers rapport *Klimatpåverkan från byggandet*, vilken presenterades vid ett seminarium i Almedalen 2014. Syftet var att lyfta frågan om byggprocessens klimatpåverkan och energianvändning, och vara ett startskott för att öka förståelsen och insatserna i byggsektorn och samhället i stort för att minska dessa. Vi rekommenderar i föreliggande rapport ett antal åtgärder som kan vidtas av sektorns aktörer redan nu och identifierar ett antal områden där mer forskning och utveckling behövs.

Det är projektgruppens förhoppning att det arbete som nu har gjorts för att ta fram fakta om klimatpåverkan från byggandet och lyfta frågan ska leda till såväl fortsatt kunskaps- och metodutveckling som till konkreta åtgärder för att minska klimatpåverkan i alla led i byggprocessen.

Stockholm i januari 2015

Maria Brogren (projektledare)
Energi- och miljöchef Sveriges Byggindustrier

[1] C. Liljenström m.fl. (2014). Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften – Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil.

# Sammanfattning

Livscykelanalys (LCA) kan användas för att beräkna miljöpåverkan av produkter och tjänster under deras livscykel – från utvinning av naturresurser, till avfallshantering. Det har tidigare varit, och antas fortfarande ofta vara, så att den största andelen av en byggnads klimatpåverkan uppstår vid drift av byggnaden, på grund av den energi som då används. På senare år har LCA-studier av enskilda byggnader dock indikerat att då husen blir allt mer energisnåla och mer förnybara energikällor används under driften, förskjuts klimatpåverkan från driftskedet till byggprocessen på grund av minskat energibehov för driften och ökad materialanvändning för att uppnå byggnadens högre energiprestanda.

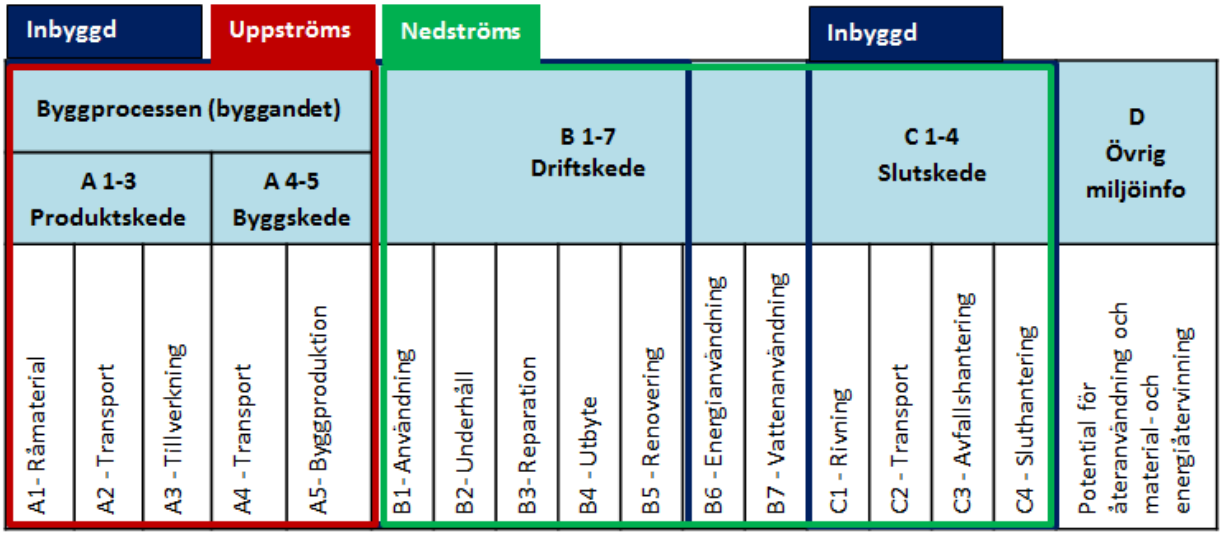
Syftet med detta projekt är att:

- Studera klimatpåverkan och energianvändning under byggprocessen respektive driftskedet för ett nybyggt flerfamiljshus med lågenergiprofil
- Lyfta frågan om byggprocessens och byggmaterialens miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv
- Lyfta metodikfrågor relaterade till LCA och byggnader

Projektet genomförs som en fallstudie för kvarteret Blå Jungfrun i Hökarängen i södra Stockholm. Husen har stomme och ytterväggar av betong och kan anses vara representativa för nybyggda energieffektiva flerbostadshus av betong. Husen har dock inga garage, vilket annars är vanligt i Stockholm och andra storstadsregioner.

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

EN15978 anger att det är dagens teknik som används även för framtida avfallshantering, driftenergi osv. Denna information är verifierbar och det betyder i praktiken att LCA-beräkningarna som görs beskriver hur miljöpåverkan kommer att se ut under en hel livscykel om dagens förhållande kommer att gälla. Detta gäller även miljödata för de byggmaterial som används, dvs. det är dagens produktionsmetoder, recept osv. som studien avspeglar.



I litteraturen förekommer ofta begreppet *inbyggd miljöpåverkan* i relation till byggnaders livscykel. Det finns ingen entydig definition på detta begrepp, men det antas här syfta på den miljöpåverkan som relaterar till materialproduktion, transporter och byggproduktion på arbetsplatsen. Andra, inte lika vanligt förekommande begrepp, är *uppströms* och *nedströms* miljöpåverkan (se figuren på sida 4), där *uppströms* här antas relatera till alla processer som sker innan byggnaden tas i drift.

Beräkningar av klimatpåverkan respektive s.k. kumulativ energianvändning (se faktaruta) i ett livscykelperspektiv kompletterar varandra, då klimatpåverkan utgör en indikator på miljöpåverkan, medan kumulativ energianvändning utgör en indikator på resursanvändning.

**Fakta: Kumulativ energianvändning**

*Kumulativ energianvändning (eng. cumulative energy demand, CED)* beskriver en produkts *summerade direkta och indirekta energianvändning i ett livscykelperspektiv.* Begreppet är i princip jämförbart med begreppet primärenergi. *Primärenergi* är dock inte alltid analytiskt beräknat utan är ibland ansatta värden i form av en s.k. *primärenergifaktor*. Därför används inte primärenergi här. Kumulativ energianvändning representerar energianvändningen under en produkts hela livscykel, dvs. den *indirekta energi* som åtgår för utvinning, omvandling och distribuering av råmaterial och produkt samt den energi som eventuellt finns bunden i en produkt (exempelvis i trä som hamnar på deponi) och den *direkta energianvändningen*, dvs. energi som används av produkten. Den kumulativa energianvändningen för en byggnad inkluderar således alla energiresurser som gått åt under byggnadens livscykel, dvs. inte bara köpt energi i driftskedet.

Klimatpåverkan relaterad till byggprocessen (modul A1-5) har beräknats med hjälp av Skanskas implementering av LCA-beräkningsverktyget Anavitor utifrån ekonomiska kalkyldata.

Uppströms klimatpåverkan för Blå Jungfrun är enligt beräkningarna 350 kg $CO_2$-ekvivalenter per $m^2A_{temp}$. Byggmaterialproduktion, framförallt produktion av betong, står för 84 procent av denna klimatpåverkan. Kumulativ energianvändning uppströms är 4 GJ per $m^2A_{temp}$ (1 100 kWh per $m^2A_{temp}$). Markberedning och byggandet av infrastruktur till byggnaden ingår inte i beräkningarna.

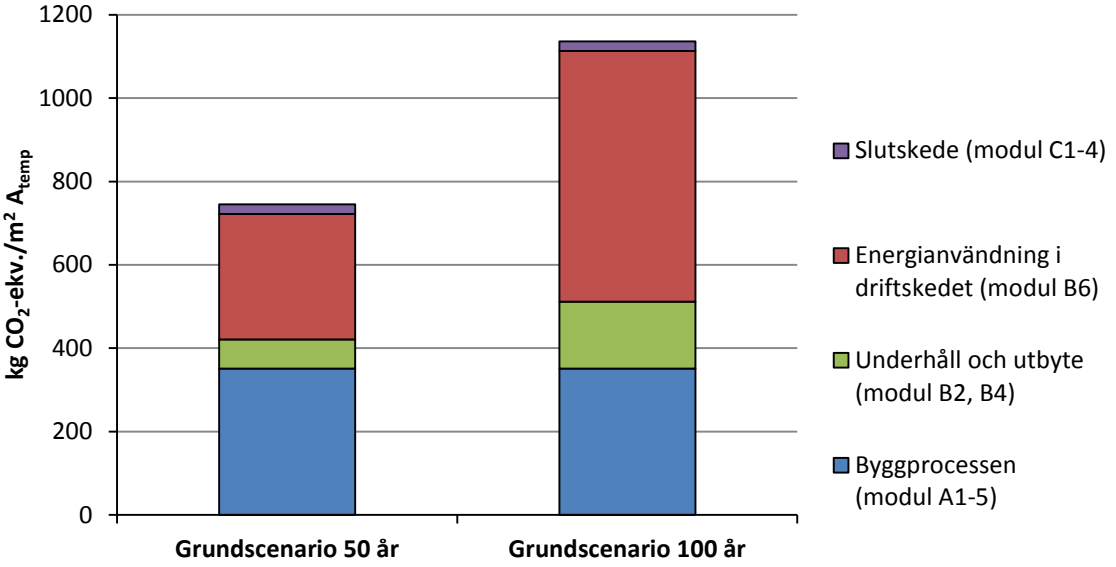
Mindre detaljerade beräkningar har utförts för underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4, B5), samt slutskedet (modul C), baserat på uppskattade materialmängder och LCA-data från tillgängliga databaser. Eftersom beräkningsverktyget Anavitor i dagsläget inte beräknar kumulativ energianvändning för alla resurser har en mer schablonmässig beräkning av energianvändningen gjorts.

Klimatpåverkan och energianvändning för modul B6 (energianvändning i driftskedet) har gjorts för tre olika antaganden om driftenergin:

- ”Låg” – El och fjärrvärme producerad med hög andel förnybara bränslen,
- Medel” – nordisk medelelmix samt svensk fjärrvärmemedel,
- Hög” – nordisk residualelmix samt fjärrvärme i storstadsnät. Uppdaterade data för klimatpåverkan för de olika energislagen har tagits fram av IVL.

Ett vanligt antagande har tidigare varit att byggprocessen står för 15 procent av klimatpåverkan och energianvändningen under byggnadens livscykel, medan resterande 85 procent kan relateras till drift av byggnaden. I denna studie framkommer att inbyggd klimatpåverkan står för 20-85 procent av total klimatpåverkan, beroende på val av analysperiod (50 år eller

**Klimatpåverkan för fallstudieobjektet Blå Jungfrun fördelat över livscykeln**




100 år) samt val av scenario för driftskedets energianvändning, medan inbyggd energianvändning står för 15-50 procent av total kumulativ energianvändning. Figuren nedan visar klimatpåverkan för driftenergiscenariot ”medel” exklusive hushållsel samt en analysperiod på 50 år respektive 100 år.

Även om underhåll och utbyte (modul B2, B4) och slutskedet (modul C) står för en lägre klimatpåverkan än byggprocessen (modul A), är deras bidrag inte obetydligt, särskilt då påverkan från underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B5, B5) ökar vid längre analysperioder. Även om osäkerheterna är stora när det gäller framtida processer, visar beräkningarna på vikten av att inkludera alla skeden i en byggnads livscykel i beräkningarna.

Grundscenariot beskriver det sätt på vilket byggnaden faktiskt uppfördes. För att analysera klimatkonsekvenserna av andra konstruktionslösningar genomfördes fyra alternativa schematiska beräkningar:

- Tillägg av ett garage under huset på ett hus likt Blå Jungfrun
- Jämförelse med om Blå Jungfrun skulle byggts enligt BBR-nivå
- Jämförelse med om Blå Jungfrun skulle byggts med utfackningsväggar i trä
- Jämförelse med om Blå Jungfrun skulle byggts enligt BBR-nivå men renoveras till passivhusstandard efter 50 år

Analysen av tillägg av garage (baserat på en parkeringsnorm på 0,7) visar att uppströms klimatpåverkan skulle öka med i storleksordningen 70 kg $CO_2$-ekvivalenter per $m^2A_{temp}$. I analysen av BBR-hus och hus med utfackningsväggar av trä visades att skillnaden i uppströms klimatpåverkan mellan passivhus och BBR-hus är liten, oavsett om det var den initiala betongkonstruktionen eller utfackningsväggar i trä på grund av de fortsatt stora betongmängderna i husets övriga delar. De båda väggalternativen har samma U-värde och ljudklass. I övrigt har eventuella skillnader (t.ex. brandskydd, effektträghet) inte beaktats.

Den beräknade klimatpåverkan bedöms vara representativ för dagens produktion av flerbostadshus i betong med lågenergiprofil även om vissa avgränsningar har gjorts i beräkningarna. Till exempel inkluderas inte markarbeten, vilket är vanligt i denna typ av LCA. Förenklade beräkningar har gjorts för

underhåll och rivning, exempelvis ingår enbart materialproduktion kopplat till renoveringsarbeten (dvs. arbetsprocesser, transporter och avfallshantering ingår inte just i dessa beräkningar). Det har även antagits mycket begränsat inre underhåll. Fallstudiebyggnaden har inte garage, vilket annars kan ses som praxis i dagens nyproduktion i Stockholmsområdet. Detta, i kombination med att elen och värmen som används i driftskedet sannolikt blir mindre klimatpåverkande i framtiden, innebär att inbyggd klimatpåverkan i energieffektiva flerbostadshus i betong i praktiken står för en något högre andel än vad som beräknats för grundscenariot i studien.

Sammanfattningsvis visar studien på betydelsen av att ta hänsyn till den inbyggda klimatpåverkan i planering av ny bebyggelse och vid renovering av befintliga hus. Den relativa betydelsen av inbyggd klimatpåverkan kan antas öka då uppvärmningsenergin i driftskede antas blir mindre klimatpåverkande i framtiden. Uppströms processer ger ett lägre bidrag till total energianvändning än till klimatpåverkan, men samtidigt ett större bidrag än i de studier som legat till grund för påståendet att endast 15 procent av energin kan relateras till byggandet.

Studien visar att det alltid är viktigt att skapa energieffektiva klimatskal även om det leder till något ökade materialmängder. Samtidigt visar studien tydligt på att byggprocessens klimatpåverkan är en mycket viktig miljöaspekt att hantera i byggandet. Minskning av produktionsfasens klimatpåverkan får dock inte ske på bekostnad av husets prestanda (funktioner) under dess livslängd, utan målet måste vara att både minska klimatpåverkan och uppfylla andra funktionella krav. Åtgärder och investeringar när byggnaden uppförs som kan öka sannolikheten att exempelvis stomme eller väggsystem kan behållas eller återanvändas vid en större ombyggnad, säg 50 år efter att huset byggdes, kan därför vara lönsamma investeringar i såväl ett ekonomiskt som ett klimatmässigt perspektiv, även om klimatpåverkan inledningsvis är högre.

Trots att materialproduktionen för detta typiska flerfamiljshus står för majoriteten av klimatpåverkan från byggprocessen är detta något som vare sig byggherrar eller entreprenörer i princip ställer några krav alls på idag. Exempel på viktiga åtgärder för att minska klimatpåverkan från byggprocessen är, med utgångspunkt från denna fallstudie, förbättrade produktionsmetoder för cement och betongrecept som innebär lägre utsläpp av växthusgaser, samt att använda mindre mängder betong för samma funktion. Val av isolering för rätt ändamål är också viktigt.

Byggentreprenörer bör, förutom att ställa krav på leverantörer, använda genomtänkta logistiklösningar, minimera materialsvinn och byta till förnybara bränslen för att minska klimatpåverkan från transporter och arbetsmaskiner. Energieffektiva bodar och effektiv, behovsanpassad belysning ska användas. Det finns även mycket att göra genom utbildning och attitydförändringar.

Under resans gång har vi i projektet berört alltifrån materialval till om och när tiden är mogen att ställa skarpa krav på minskade koldioxidutsläpp från byggprocessen. Vi har kunnat konstatera att arbetet med att få LCA-beräkningar att bli entydiga (dvs. att samma svar erhålls oavsett vem som gör beräkningarna) har gått snabbt framåt de senaste åren och att detta idag är möjligt att uppnå för byggprodukter. När det gäller entydiga LCA-beräkningar för hela byggnadsverk återstår en del, men arbete pågår så att tiden snart kan vara mogen för att använda LCA som beslutsunderlag i utformning och upphandling av byggprojekt.

# Innehållsförteckning


Förord ..... 3

Sammanfattning ..... 4

1 Inledning ..... 9

1.1 Syfte ..... 9

1.2 Avgränsningar ..... 9

1.3 Läsanvisning ..... 11

2 Bakgrund ..... 12

2.1 Livscykelanalys (LCA) ..... 12

2.2 Gemensamma europeiska miljöbedömningar ..... 14

2.3 Begreppsdefinitioner ..... 15

3 Metodik ..... 18

3.1 Beskrivning av påverkanskategorier ..... 18

3.2 Från kalkyldata till LCA-beräkning: Anavitorkonceptet ..... 20

3.3 LCA-data för klimatpåverkan och energianvändning ..... 21

3.4 Datainventering - Omfattning och beräkningsantaganden modul för modul ..... 29

4 Beskrivning av Blå Jungfrun ..... 35

5 Resultat ..... 37

5.1 Uppströms klimatpåverkan ..... 37

5.2 Uppströms kumulativ energianvändning ..... 39

5.3 Fördelning av klimatpåverkan och energianvändning över livscykeln ..... 41

6 Alternativa utföranden ..... 44

6.1 Garage ..... 44

6.2 BBR-hus ..... 45

6.3 Utfackningsväggar i trä ..... 46

6.4 BBR-hus renoveras till passivhus ..... 48

7 Diskussion ..... 50

7.1 Resultatdiskussion ..... 50

7.2 Jämförelse med liknande fallstudier ..... 52

7.3 Diskussion kring scenarier ..... 55

8 Slutsatser ..... 57

9 Rekommendationer ..... 59

9.1 Åtgärder för att minska klimatpåverkan från byggprocessen ..... 59

9.2 Fortsatt arbete för att kunna tillämpa LCA på byggandet ..... 63

Referenser ..... 66

# 1 Inledning

Livscykelanalyser (LCA) har länge använts för att bedöma byggnaders klimatpåverkan. Trots detta är tillämpningen av LCA inom svensk byggsektor fortfarande begränsad. Ett vanligt antagande har tidigare varit att produktionen av byggnaden står för 15 % av klimatpåverkan och energianvändning under byggnadens livscykel, medan resterande 85 % kan relateras till drift av byggnaden (Adalberth m.fl., 2001). Historiskt sett har fokus därför legat främst på att begränsa klimatpåverkan under byggnadens driftskede, till exempel genom reducerad energianvändning. Antagandet var säkert relevant för de förhållanden som gällde då. Men i takt med att husen blir energisnålare och energin som används i driften är mindre klimatpåverkande så förskjuts åtminstone byggnadens klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv från driftskedet till byggprocessen på grund av minskat energibehov och ökad materialanvändning för att uppnå förbättrad energiprestanda. Tidigare fallstudier har visat att klimatpåverkan från byggprocessen respektive driftskedet numera kan vara i samma storleksordning (se t.ex. Brown m.fl., 2014; Erlandsson 2014a).

## 1.1 Syfte

Syftet med det här projektet är att ta fram ett konkret, detaljerat exempel på omfattningen av klimatpåverkan och energianvändning kopplad till byggprocessen för ett nyproducerat flerfamiljshus med lågenergiprofil, samt att jämföra klimatpåverkan och energianvändning under byggprocessen (uppströms) med driftskedet (nedströms). Detta görs för att öka förståelsen för hur energianvändning och utsläpp av växthusgaser är fördelade i byggprocessen, lyfta frågan om byggprocessens och byggmaterialens klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv och illustrera hur liknande LCA-beräkningar kan göras enligt de standarder och produktspecifika regler som idag finns på området.

Projektet genomförs som en fallstudie för kvarteret Blå Jungfrun i Hökarängen i södra Stockholm. En anledning till att Blå Jungfrun valdes som fallstudieobjekt var att entreprenören Skanska redan hade genomfört beräkningar av klimatpåverkan kopplat till produktionen och driften av husen. Med ett aktuellt och illustrativt beräkningsexempel kan projektet bidra till att sprida kunskap om uppströms energianvändning och klimatpåverkan för ett förhållandevis typiskt svenskt nytt flerbostadshus med lågenergiprofil.

**Figur 1:** Fallstudieobjektet Blå Jungfrun. Foto: Jan Särnesjö

## 1.2 Avgränsningar

Beräkningar görs utifrån rådande praxis och de standarder som i dag finns på området, EN 15804 och EN 15978. Detta innebär att en bokförings-LCA tillämpas i detta projekt. Bokförings-LCA används för att beskriva

den miljöpåverkan som direkt kan associeras till en viss produkt eller tjänst, medan konsekvens-LCA används för att studera den miljöpåverkan som uppstår vid en förändring av ett system (Erlandsson m.fl., 2014).

Inkluderade livscykelskeden visas i **Tabell 1**, detta förklaras närmare i avsnitt 3.4. Ett avsteg från standarden är att endast påverkanskategorierna klimatpåverkan och s.k. kumulativ energianvändning beräknas i detta projekt. Detta förklaras närmare i avsnitt 3.1. Denna fallstudie syftar till att beräkna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning för ett typiskt nybyggt betonghus. Syftet har inte varit att jämföra olika material (till exempel trä och betong).

**Tabell 1:** Moduler och delmoduler enligt standarden EN 15978. Svensk översättning har gjorts i dialog med projektets styr- och referensgrupper för att underlätta kommunikation med byggsektorns aktörer. Tabellen illustrerar de moduler som har inkluderats i detta projekt.

| **Livscykelinformation byggnad** | | | | | | | | | | | | | | | | **Övrig information** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Byggprocessen (byggandet)** | | | | | **B 1-7 Driftskede** | | | | | | | **C 1-4 Slutskede** | | | | **D Övrig miljöinfo** |
| **A 1-3 Produktskede** | | | **A 4-5 Byggskede** | | | | | | | | | | | | | |
| A1- Råmaterial | A2 - Transport | A3 - Tillverkning | A4 - Transport | A5- Byggproduktion | B1- Användning | B2- Underhåll | B3- Reparation | B4 - Utbyte | B5 - Renovering | B6 - Energianvändning | B7 - Vattenanvändning | C1 - Rivning | C2 - Transport | C3 - Avfallshantering | C4 - Sluthantering | Potential för återanvändning och material- och energiåtervinning |
| X | X | X | X | X | | X | | X | X | X | | X | X | X | X | |

En annan konsekvens av att följa EN 15804 och EN 15978 är att man ska använda LCA-data som beskriver dagsläget, dvs. miljödata som är representativa för de produkter som faktiskt används. Detta betyder att ett annat resultat skulle kunna erhållas om scenarier för framtida förbättringar modelleras i beräkningarna. I projektet används därför bara representativa data för ingående bygg-produkter och använd energi och inga antaganden görs om hur det skulle kunna se ut med en miljöanpassad produktutveckling eller lägre energibehov i framtiden.

De betongmängder som används i beräkningarna för Blå Jungfrun är för ett byggsystem med kvarsittande form, men är ungefär lika stora som om vanlig byggteknik hade använts (se tabell 8). I denna studie görs vissa alternativa utföranden där det bland annat antagits olika ytterväggs-konstruktioner med samma U-värde och ljudklass. I övrigt beaktas inga eventuella skillnader mellan de två alternativen.
I dessa fall ingår inte drift och underhåll.

## 1.3 Läsanvisning

Projektet syftar till att kommunicera livscykeltänkande genom att ta fram ett transparent, relevant beräkningsexempel och skapa förståelse för olika metodvals betydelse för exempelvis fördelningen mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan, utifrån de avgränsningar som angivits i avsnitt 1.2. Därför läggs stor tonvikt på att beskriva metodiken i detalj för fallstudien Blå Jungfrun. Detta görs i kapitlen 2-3.

Kapitel 2 ger en övergripande bakgrund till konceptet livscykelanalys, standarderna och definitioner på uppströms, nedströms och inbyggd klimatpåverkan och energianvändning. I kapitel 3 beskrivs gjorda beräkningsantaganden och antagna systemgränser för studien.

Fallstudieobjektet Blå Jungfrun beskrivs i kapitel 4 följt av resultat i kapitel 5. I kapitel 6 beskrivs metodik och resultat för ett antal olika tilläggsberäkningar som finansiärer och styrgrupp varit intresserade av. Detta följs av diskussion och slutsatser i kapitel 7-8. Rapporten avslutas med förslag på vidare arbete och rekommendationer i kapitel 9-10.

Den som vill gå direkt på resultaten kan därför börja läsa direkt i kapitel 5 och sedan gå tillbaka till tidigare kapitel för att bättre förstå vad som ingår i beräkningarna.

Denna rapport ersätter den tidigare arbetsrapport[2] som publicerades i samband med ett seminarium i Almedalen 2014.

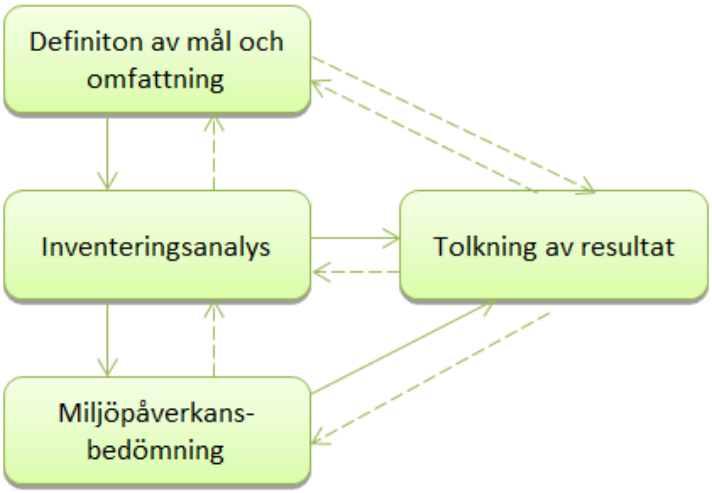
[2] Liljenström m.fl. (2014). Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadhus i betong med lågenergiprofil.

# 2 Bakgrund

Beräkningarna i detta projekt utförs så långt som möjligt i riktlinje med de standarder som finns på området, dvs. EN 15978 för byggnader och EN 15804 för byggprodukter. Dessa standarder följer metodiken för livscykelanalys (LCA). För att sätta standarderna och andra metodologiska val i ett sammanhang beskrivs i detta kapitel först konceptet LCA. Avsnitt 2.1 innehåller en kort beskrivning av LCA-proceduren samt några viktiga metodval som måste göras vid genomförandet av en LCA. Detta följs i avsnitt 2.2 av en beskrivning av standarderna EN 15978 och EN 15804. De två begreppen uppströms och nedströms definieras i avsnitt 1.1 och relateras där också till det i litteraturen vanligt förekommande begreppet inbyggd miljöpåverkan, samt de tidigare beskrivna standarderna.

## 2.1 Livscykelanalys (LCA)

Livscykelanalys (LCA) är en metodik för bedömning av resursanvändning och miljöpåverkan under hela livscykeln för en produkt eller en tjänst, från utvinning av råmaterial till produktion, användning och avfallshantering (ISO 14040 och ISO 14044:2006). En LCA består vanligen av fyra steg som tillämpas i en iterativ process enligt ISO ( 14044:2006), se Figur 2.




**Figur 2:** Översikt av LCA-proceduren. Pilarna indikerar i vilken ordning de olika stegen utförs. Streckade pilar indikerar möjliga itterationer. (Anpassad från Baumann and Tillman, 2004).

Nedan följer en kort beskrivning av de olika stegen i en LCA:

*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. Dessa metodval beskrivs i mer detalj nedan.

*2. Inventeringsanalys.* Detta steg omfattar en beskrivning av de resurser som används i hela livscykeln och de utsläpp som sker till följd av resursanvändningen.

*3. Miljöpåverkansbedömning.* I detta steg relateras utsläpp och resursanvändning till miljöproblem. Det vill säga, miljöbelast-

ningar som utsläpp av koldioxid ($CO_2$) översätts till miljöpåverkan, till exempel klimatförändring.

*4. Tolkning av resultatet.* Resultatet utvärderas i förhållande till mål, omfattning och avgränsningar så att slutsatser kan dras och rekommendationer ges.

### 2.1.1 Metodval

Ett antal metodval måste tas i beaktande när en LCA görs. Dessa val kan ha en betydande inverkan på det slutliga resultatet. Enligt Bauman och Tillman (2004) är några av de viktigaste metodfrågorna val av funktionell enhet, dragning av systemgränser och typ av data som används. Eftersom dessa val beror på studiens omfattning, dvs. den fråga som ska besvaras, måste en första distinktion 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 en LCA relateras miljöpåverkan till en funktion hos produktsystemet. Den *funktionella enheten* är ett kvantitativt uttryck för denna funktion. Den är ett referensflöde till vilka alla in- och utflöden till systemet relateras. Den funktionella enheten blir på så sätt särskilt viktig då olika studier jämförs med varandra (Baumann och Tillman, 2004). En vanlig funktionell enhet i LCA för byggnader är ”per $m^2$”, där referensarean kan vara till exempel ”användbar golvyta” eller $A_{temp}$.

Val och antaganden om *systemgränser* är ofta avgörande för resultatet av en LCA (Rebitzer m.fl., 2004). Systemgränser kan anges i flera dimensioner (Bauman och Tillman, 2004):

- Gränser i relation till naturliga system - var börjar och slutar livscykeln?
- Geografiska gränser - var i världen sker olika aktiviteter och processer?
- Temporära gränser - inom vilket tidsperspektiv ska processerna studeras, vilka antaganden görs när det gäller framtida tekniker och inom vilken tidsram analyseras miljöpåverkan?
- Gränser inom det tekniska systemet - hur ska miljöpåverkan fördelas mellan flera produkter som delar samma processer?

Oavsett vilken typ av LCA som utförs kommer kvaliteten på resultatet att bero på *val av data*. Att hitta nödvändiga data är ofta svårt och datainsamling kan därför vara en av de mest tids- och arbetskrävande stegen i en LCA. För att underlätta datainsamling har många databaser utvecklats som innehåller inventeringsdata om produkter och grundläggande tjänster som behövs i varje LCA, såsom råvaror, transportprocesser och produktion av el (Rebitzer m.fl., 2004; Finnveden m.fl., 2009). Det finns flera olika typer av data (Lützkendorf och Balouktsi, 2013):

- Generisk data som är typisk data för de material som används
- Medeldata kombinerad från olika tillverkare av samma produkt
- Produktkollektiva data för en typ eller kategori av liknande produkter (t.ex. en miljövarudeklaration)
- Produktspecifik data från tillverkaren av komponenter eller produkter som används i konstruktionen
- Specifik detaljerad information såsom mängd, dimension etc. för de produkter och komponenter om används, samt direkta mätdata såsom energianvändning

## 2.2 Gemensamma europeiska miljöbedömningar

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). I Sverige användes exempelvis Miljöbelastningsprofilen vid utveckling av Hammarby sjöstadsprojektet i Stockholm och vid Högskolan i Gävle/KTH utvecklades verktyget EcoEffect. NCC och Skanska har rutinmässigt gjort LCA-beräkningar baserat på produktionskalkyler enligt Anavitorkonceptet (Erlandsson m.fl., 2007). I litteraturen förekommer en rad exempel på fallstudier där LCA använts för att beräkna miljöpåverkan av olika enskilda byggnader (se till exempel Adalberth m.fl., 2001 och Thormark, 2002). En svårighet har dock varit att liknande beräkningar utförts på olika sätt, till exempel med olika systemgränser. Detta har medfört att det är svårt att jämföra resultaten från olika livscykelanalyser av byggnader med varandra.

Sedan mitten av 2000-talet har därför ett standardiseringsarbete bedrivits inom den internationella och den Europeiska standardiseringsorganisationen, ISO respektive CEN för att finna ett mer enhetligt sätt att utföra dessa beräkningar. De standarder som har tagits fram inom CEN betraktas idag allt mer som det accepterade sättet att genomföra beräkningar av miljöprestanda av byggnadsverk och specificeras i standarden EN 15978. Vidare finns standarden EN 15804 som ger produktspecifika regler (PCR) för alla konstruktionsprodukter och byggtjänster. Dessa regler ger en struktur som säkerställer att alla miljödeklarationer för konstruktionsprodukter, tjänster och processer tas fram och rapporteras på ett enhetligt sätt. I början av 2014 antogs dessutom en PCR för byggnader inom systemet EPD International som specificerar regler som är förenliga med standarderna EN 15978 och EN 15804.

I standarderna EN 15978 och EN 15804 är byggnadens systemgränser uppdelade i så kallade informationsmoduler (A, B, C, D). Dessa är i sin tur indelade i delmoduler (A1, A2…, B1, B2…, o.s.v.), se Figur 3.

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 så kommer avfallshantering relaterat till det avfall som uppkommer vid renovering av byggnaden att allokeras till modul B5 (renovering). Modul D är en separat, frivillig del som syftar till att beskriva den nytta som kan relateras till material- och energiåtervinning samt återanvändning utanför byggnadens systemgräns. Modul D kan och ska inte jämföras med eller läggas ihop med övriga moduler.

| Livscykelinformation byggnad | | | | | | | | | | | | | | | | Övrig information |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Byggprocessen (byggandet) | | | | | B 1-7 Driftskede | | | | | | | C 1-4 Slutskede | | | | D Övrig miljöinfo |
| A 1-3 Produktskede | | | A 4-5 Byggskede | | | | | | | | | | | | | |
| A1- Råmaterial | A2 - Transport | A3 - Tillverkning | A4 - Transport | A5- Byggproduktion | B1- Användning | B2- Underhåll | B3- Reparation | B4 - Utbyte | B5 - Renovering | B6 - Energianvändning | B7 - Vattenanvändning | C1 - Rivning | C2 - Transport | C3 - Avfallshantering | C4 - Sluthantering | Potential för återanvändning och material- och energiåtervinning |

**Figur 3:** Överblick av byggnadens systemgränser uppdelade i informationsmoduler enligt EN 15978. Svensk översättning har gjorts i detta projekt tillsammans med representanter för projektets referens- och styrgrupper.

## 2.3 Begreppsdefinitioner

Detta projekt handlar om att belysa klimatpåverkan och kumulativ energianvändning från att konstruera byggnaden och relatera detta till klimatpåverkan och kumulativ energianvändning under byggnadens driftskede. Flera liknande studier har redan gjorts. Ett vanligt förekommande begrepp i dessa studier är *inbyggd klimatpåverkan och energi*, där det med *inbyggd (eng. embodied)* avses den klimatpåverkan och energi som inte är förknippad med själva el- och värmeanvändningen i driftskedet. Även om begreppen *uppströms* och *nedströms* klimatpåverkan/energianvändning förekommer i Sverige. Dock används och tolkas dessa begrepp på olika sätt i såväl fallstudier som i beräkningsverktyg vilket kan försvåra jämförbarhet mellan studier.

Exempelvis används begreppet *"produktionsfasen"* ibland synonymt med begreppet *"uppströms"*, men vilka aktiviteter som inkluderas i begreppet varierar beroende på vilka av modulerna i CEN-standarden som ingår. På liknande sätt inkluderar vanligen begreppet *"nedströms"* de processer som sker efter att byggnaden har tagits i drift. Med detta avses ofta energianvändning för drift av byggnaden, men det kan även inkludera material- och byggproduktionsaktiviteter som sker vid renovering av en byggnad. Vidare kan begreppet *inbyggd* spänna från att enbart inkludera materialproduktion, till att omfatta hela byggnadens livscykel och därmed också inkludera konstruktion, underhåll, rivning och avfallshantering. Nedan ges några exempel på hur *inbyggd energi* definieras i några tidigare fallstudier:

- Utvinning av råmaterial samt tillverkning av byggprodukter (Hong m.fl., 2013)
- Summan av all den energi som åtgår för att tillverka en produkt, i detta fall en byggnad. Den energi som finns i materialet som används för att konstruera byggnaden kallas i stället för *initial inbyggd energi* (Sartori och Hestnes, 2007)
- Summan av all den energi som åtgår för att tillverka en produkt, i detta fall en byggnad samt den energi som åtgår för renovering och underhåll under hela

byggnadens livslängd. All den energi som åtgår för att konstruera byggnaden kallas för initial inbyggd energi, medan den energi som associeras med underhåll kallas för *återkommande (eng. recurrent) inbyggd energi* (Stephan m.fl., 2013)

- Materialproduktion, transporter och underhåll, men inte den energi som åtgår för konstruktion av byggnaden (Thormark, 2002)
- Den energi som åtgår för utvinning av råmaterial, transport, tillverkning av byggprodukter, transport till byggplatsen, konstruktion av byggnaden, renovering och rivning av byggnaden (Karimpour m.fl., 2014)

Hur begreppet *inbyggd* definieras har självklart betydelse för de slutsatser som dras från studien. Hur stor andel den inbyggda energin och klimatpåverkan står för kan komma att variera beroende på hur systemgränserna har dragits. Till exempel kommer den inbyggda energin/klimatpåverkan stå för en större andel av den totala påverkan om också renovering och underhåll (inklusive materialproduktion, transporter och konstruktionsaktiviteter förknippat med detta) inkluderas i begreppet inbyggd energi/klimatpåverkan. Självklart av betydelse här är också längden på analysperioden, eftersom materialåtgången för underhåll blir högre ju längre beräknad livslängd som antas. Eftersom begreppen tolkas på olika sätt är det svårt att jämföra olika beräkningar med varandra och det är lätt att missförstånd sprids kring hur stor miljöpåverkan olika delar av livscykeln står för. Nedan definieras därmed hur begreppen uppströms, nedströms och inbyggd används i detta projekt och hur de relateras till modulerna i CEN-standarderna.

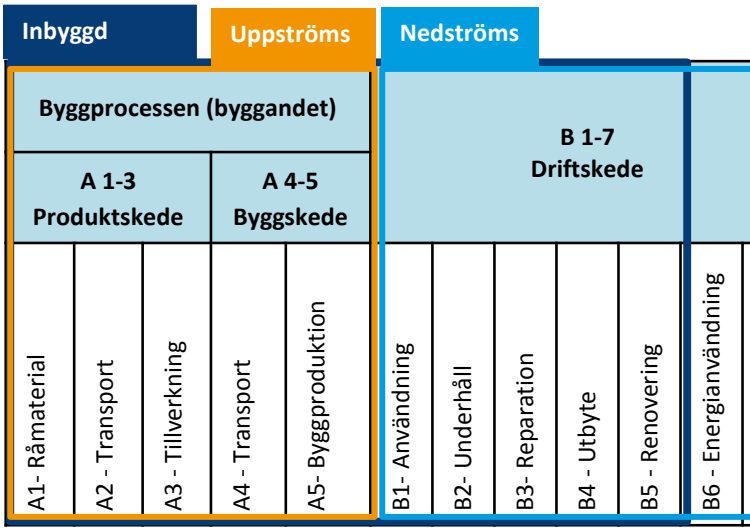
### 2.3.1 Antagna definitioner i detta projekt

I detta projekt används begreppet *uppströms* och det omfattar här de aktiviteter som sker under själva byggprocessen (modul A1-5). Till *nedströms* räknas de aktiviteter som sker efter det att byggnaden är uppförd, dvs. drift av byggnaden samt rivning och därmed relaterad hantering av rivningsavfall (modul B och C). En anledning till att processerna delas upp på detta sätt är att det finns en större osäkerhet i de processer som sker nedströms. Byggnader har en lång livslängd jämfört med många andra produkter och det råder därför stor osäkerhet i material- och energiåtgång för drift, underhåll och renovering, samt framtida processer såsom system för avfallshantering och energislag som kommer att användas. Data förknippad med byggprocessen (modul A1-5) är ofta av högre kvalitet och kan normalt sett verifieras i verkligheten, medan nedströms processer måste baseras på antaganden.

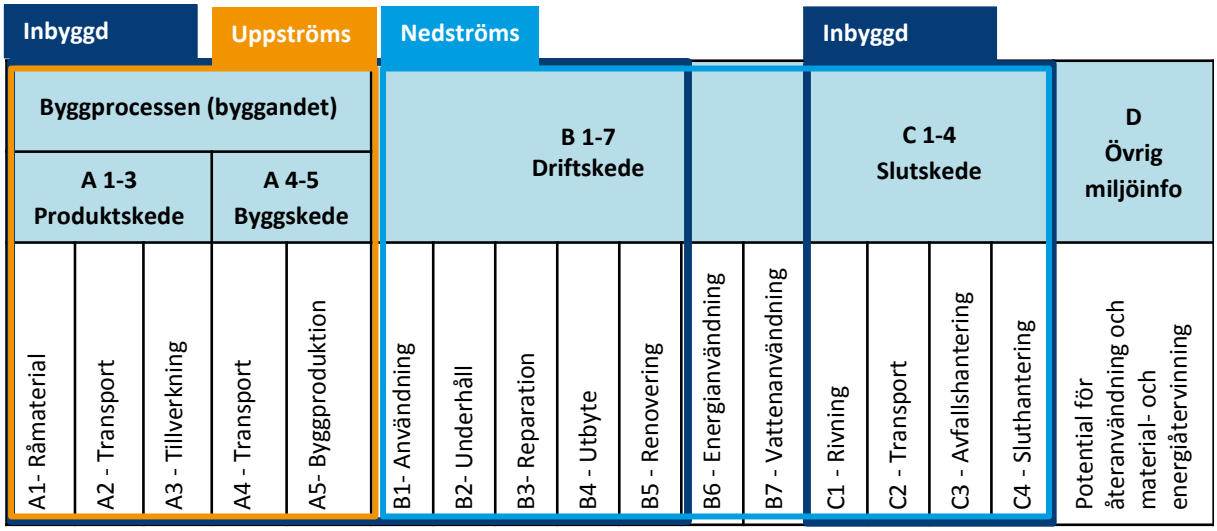
För att definiera inbyggd energi och klimatpåverkan används rekommendationer från det pågående IEA Annex 57[3] där internationella experter från 20 länder arbetar med att utveckla rekommenderade definitioner och ett eget ramverk för att välja systemgränser vid beräkning av inbyggd energi och klimatpåverkan. Enligt rekommendationerna i IEA Annex 57 kan systemgränsen tillåtas variera beroende på syftet med studien men centralt är att det transparent ska framgå vilka moduler enligt CEN-standarden som ingår i definitionen. Två huvudsakliga rekommenderade systemgränser förs fram: 1) vagga-till-överlämning

[3] IEA (International Energy Agency) Annex 57 Evaluation of Embodied Energy and Carbon Dioxide Emissions for Building Constructions (www.annex57.org), ett pågående internationellt projekt som ingår i IEA:s Energy in Buildings and Community programme Implementation Agreement.

*(eng. cradle-to-handover)* (själva byggprocessen – modul A1-5) samt 2) vagga-till-grav *(eng. cradle to grave)* (hela byggnadens livscykel – modul A-C) (Lützkendorf och Balouktsi, 2013). I detta projekt definieras inbyggd energi/klimatpåverkan enligt systemgränsen vagga-till-grav och begreppen *uppströms* och *inbyggd* kommer därför att referera till olika saker. Förhållandet mellan begreppen uppströms, nedströms och inbyggd illustreras i




Figur **4**.




**Figur 4:** Illustration av begreppen uppströms, nedströms och inbyggd så som de definierats i detta projekt.

# 3 Metodik

Följande kapitel beskriver den metodik som har använts för att utföra beräkningarna. Avsnitt 3.1 innehåller en beskrivning av de påverkanskategorier som används för att beskriva byggnadens miljöbelastning, dvs. klimatpåverkan och kumulativ energianvändning. Som tidigare nämnts har Skanska redan utfört beräkningar av klimatpåverkan för konstruktion av Blå Jungfrun. I avsnitt 3.2 beskrivs hur dessa beräkningar gjordes baserat på Skanskas kalkyldata. De LCA data som har använts för att göra beräkningarna beskrivs i avsnitt 3.3. Detta följs i avsnitt 3.4 av en datainventering för de moduler som inkluderas i beräkningarna, dvs. byggprocessen (modul A1-5), driftskedet (modul B2, B4-6) samt slutskedet (modul C1-4). Där beskrivs indata och dataunderlag för varje modul och gjorda beräkningsantaganden i förhållande till standarderna EN 15804 och EN 15978.

## 3.1 Beskrivning av påverkanskategorier

De påverkanskategorier som används i projektet för att beskriva byggnadens miljö- och resursbelastning är klimatpåverkan och kumulativ energianvändning. Klimatpåverkan är ett (del-) mått på byggnadens miljöpåverkan, medan kumulativ energianvändning är ett mått på resursanvändning. I vissa fall följer dessa två kategorier varandra, dvs. att en hög kumulativ energianvändning också ger en hög klimatpåverkan, men det finns också undantag. Växthusgaser släpps ut till atmosfären vid förbränning av fossila bränslen, men också vid kemiska processer vid tillverkning av till exempel stål och cement. Dessa processer bidrar inte till den kumulativa energianvändningen. Det finns även vissa energislag som inte ger utsläpp av växthusgaser vid användning, till exempel vind- och solenergi. De två kategorierna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning kompletterar därför varandra.

Flera metodologiska problem och val uppstår vid beräkning av klimatpåverkan och kumulativ energianvändning och det finns ännu inte några vedertagna regler för hur detta ska göras. Syftet med detta avsnitt är därför att klargöra vilka beräkningsantaganden som görs i detta projekt. Enligt standarden EN 15978 ska totalt 22 indikatorer användas för att mäta byggnadens miljöbelastning. Dessa är uppdelade på indikatorer som beskriver miljöpåverkan, resursanvändning, avfall och materialflöden ut från systemet. Eftersom endast klimatpåverkan och kumulativ energianvändning beräknas i detta projekt kommer endast vissa av dessa indikatorer att användas, vilket beskrivs närmare nedan.

### 3.1.1 Klimatpåverkan

Enligt standarden EN 15978 så ska klimatpåverkan beskrivas med indikatorn global uppvärmningspotential *(eng. Global Warming Potential, GWP)* uttryckt i enheten kg $CO_2$-ekvivalenter. Detta är också rekommendationen från IEA Annex 57. Både standarden och IEA Annex 57 anger också att GWP ska mätas över en tidsperiod på 100 år. I dessa beräkningar inkluderas också andra växthusgaser än koldioxid, men som beskrivs närmare i avsnitt 3.3.1 har det för vissa material endast funnits tillgänglig data för utsläpp av koldioxid.

En viktig parameter att definiera när man pratar om inbyggd klimatpåverkan är upptag och lagring av $CO_2$ i biomassa (Lützkendorf och Balouktsi, 2013). Detta är ännu inte förknippat med en allmänt accepterad definition (Lützkendorf och Balouktsi, 2013) och för det finns inte heller några riktlinjer i standarderna EN 15978 och EN 15804. Däremot finns det en PCR för

träprodukter framtagen som innehåller ett koncept som innebär att detta beaktas i inventeringen och redovisas som en miljöindikator i EPD:n. Med upptagen biogen $CO_2$ menas vanligen sådan $CO_2$ som är lagrad i ett material genom tidigare upptag från atmosfären. Till exempel så finns $CO_2$ lagrat i träprodukter tills de någon gång förbränns eller deponeras. Argument finns både för och emot inkludering av $CO_2$-upptag i en LCA. Vissa menar att det bör inkluderas under särskilda förutsättningar, till exempel om det är säkert hur produkten kommer att behandlas i slutet av livscykeln (Lützkendorf och Balouktsi, 2013). I det här projektet har det beslutats att biogent upptag av $CO_2$ inte ska inkluderas, eftersom det ännu inte finns allmänt acceptans för detta.

En annan aspekt som är relevant för betongkonstruktioner är frågan om karbonatisering av betong. Betong har en förmåga att reagera kemiskt med $CO_2$ i luften och binda denna i betongen. Storleken av karbonatiseringen är beroende av många faktorer, t.ex. tidsperiod och betongkonstruktionens exponering för luft. Flera studier kommer till slutsatsen att karbonatiseringens betydelse är liten i sammanhanget (t.ex. Collins, 2010, Engelsen m.fl., 2014 samt Nilsson, 2011), medan andra pekar på högre karbonatisering. Arbete pågår för närvarande med att ta fram en PCR för betong. Då denna ännu inte är fastställd har vi gjort ställningstagandet att inte beakta karbonatisering i denna rapport. Sammanfattningsvis kommer alltså klimatpåverkan i detta projekt att mätas med indikatorn $GWP_{100}$, uttryckt i enheten kg $CO_2$-ekvivalenter, utan inkludering av biogent koldioxidupptag och karbonatisering av betong.

### 3.1.2 Kumulativ energianvändning

Den kumulativa energin *(eng. cumulative energy demand, CED)* representerar energianvändningen under en produkts hela livscykel, inklusive den energi som åtgår för extraktion, omvandling och distribuering av råmaterial. Denna skiljer sig därmed från den levererade energin vilken är den energi som används av konsumenten. Kumulativ energianvändning kan mätas med flera olika indikatorer. Viktiga aspekter att ta hänsyn till är om förnybar energi och energiresurser använda som råmaterial *(eng. feedstock energy)* ska inkluderas i beräkningarna (Lützkendorf och Baloutski, 2013). Det ska noteras att begreppet *feedstock energy* inte är entydigt och det kan utöver den energi som finns bunden i produkten även inkludera materialsvinn i processen.

Enligt standarden EN 15978 ska den kumulativa energianvändningen uttryckas i MJ samt fördelas på fyra indikatorer:

- Förnybar primär energi, exklusive energiresurser använda som råmaterial
- Icke-förnybar primär energi, exklusive energiresurser använda som råmaterial
- Förnybara primärenergiresurser använda som råmaterial
- Icke-förnybara primärenergiresurser använda som råmaterial

Detta liknar det förhållningssätt som rekommenderas i IEA Annex 57. Enligt Lützkendorf och Balouktsi (2013) är icke-förnybar primärenergiproduktion i de flesta fall en viktig indikator för att uppskatta mängden inbyggd energi. Samtidigt bör man hushålla också med förnybara resurser. Därför föreslås att både indikatorerna total primär, icke-förnybar och primär energi redovisas.

I detta projekt kommer energianvändningen att beräknas med indikatorn total primär energianvändning, vilket inkluderar både icke-förnybara och förnybara energiresurser, samt energiresurser använda som råmaterial *(eng. feedstock energy).* Indikatorn belyser därmed resursutnyttjande av icke förnybara resurser samt energieffektiviteten hos hela byggnaden totalt över livscykeln. Energianvändningen uttrycks i enheten megajoule (MJ).

## 3.2 Från kalkyldata till LCA-beräkning: Anavitorkonceptet

En av anledningarna till att Blå Jungfrun valdes som fallstudie var att Skanska som utförde konstruktionen redan hade beräknat klimatpåverkan för byggprocessen (modul A-5) samt energianvändning under byggnadens driftskede (modul B6). Mycket av de data som behövdes för beräkningarna fanns således redan tillgängliga. I detta avsnitt beskrivs den metodik och programvara som Skanska använde sig av för att beräkna klimatpåverkan. De LCA-data som använts samt vilka processer och aktiviteter som inkluderats i varje modul beskrivs i avsnitten 3.3 och 3.4.

### 3.2.1 Anavitorkonceptet

Skanska utförde beräkningarna med hjälp av programmet Anavitor[4] och IVL Miljödatabas Bygg. Anavitorkonceptet utvecklades av IVL år 2007 och består i dag utav två delar: ett datorprogram, Anavitor (som ägs av det privata företaget Åkej AB), samt en miljödatabas med LCA-data som tillhandahålls av IVL (IVL Miljödatabas Bygg) (Erlandsson, 2014). Miljödatabasen beskrivs i mer detalj i avsnitt 3.3.1. Tanken med konceptet är att företag enkelt ska kunna göra miljöberäkningar baserat på redan tillgänglig information om projektet, till exempel CAD-ritningar, ekonomiska kalkyler eller mängdförteckningar. Genom korsreferering till IVL:s miljödatabas behöver inte företagen själva ha detaljerad kunskap i LCA (Erlandsson, 2014). För Blå Jungfrun har Skanska utgått från projektets ekonomiska kalkyl. Det kan noteras att enbart rena kostnader för material och bränslen inkluderas och inte övriga kostnader såsom lönekostnader.

De data som företaget har tillgång till korsrefereras sedan till IVL Miljödatabas Bygg. Databasen innehåller generiska miljödata för cirka 1000 olika varugrupper, vilka kan användas för att göra miljöberäkningar (Erlandsson, 2014). Utöver de generiska data som finns i databasen kan man i Anavitor lägga in leverantörsspecifika data som granskats, dokumenterats och kvalitetsklassats av IVL. Exempelvis finns det generella data för betong i IVL:s databas, men om företaget har LCA-data från den specifika tillverkaren och betongkvalitén som används så kan dessa data användas i stället. Kalkylen som Skanska har gjort innehåller kalkylposter med enheter som $m^2$, löpmeter, kronor, etc. De har sedan en modell för omvandling av detta till de enheter som används i miljödatabasen (kg för byggmaterial samt MJ för processer).

Databasen innehåller inte specifika livscykeldata för alla de tusentals unika byggvaror som används vid konstruktionen. En viss generalisering måste därför göras för att tillgänglig kalkyldata ska kunna matchas mot IVL:s databas. Till exempel kan 35 000 unika byggvaror hanteras i en kalkyl. Detta omfattar olika typer av spik, betongkvaliteter etc. Dessa byggvaror kan sedan delas in i cirka 2 500 ”enkla byggmaterial” vilka kan länkas till någon av de runt 1000 olika varugrupper som finns i IVLs databas (Erlandsson, 2014). Genom korsreferering länkas de unika byggvarorna i användarens kalkylsystem till miljödatabasen. När korsreferering görs finns risken att datakvaliten blir lägre. Anavitor bedömer därför den sammanlagda datakvaliteten på korsreferenserna. På så sätt är det möjligt att göra en bedömning av dataosäkerheters inverkan på slutresultatet och hur säkra slutsatser som kan dras (Erlandsson, 2014).

### 3.2.2 Uppdelning av resurser på byggprocessen (modul A1-5)

Klimatpåverkan fås I Anavitor fördelad på tre olika sätt: (1) på materialproduktion (modul A1-3), transport (modul A4) och byggproduktion (modul A5), (2) på bygg-

[4] www.anavitor.se

delar och (3) på betydande resurser. Fördelning på byggdelar och betydande resurser är två olika sätt att fördela den *totala* klimatpåverkan från byggprocessen. Med Anavitor är det även möjligt att ytterligare dela upp klimatpåverkan från byggdelar förutsatt att kalkylen har en sådan uppdelning. Det är t.ex. möjligt att se vilket bidrag betong ger till den totala klimatpåverkan från byggprocessen (modul A1-5).

De livscykelresurser som finns i IVL:s miljödatabas är grupperade i 35 varugrupper, vilka sedan har fördelats på 12 byggdelar (BY01-BY12), se Tabell 2. Byggdelarna BY01-07 omfattar produktion och transport av material som används i konstruktionen samt eventuellt spillmaterial. BY08, BY09 samt BY11 kan relateras direkt till byggproduktionen (modul A5), medan BY10 är kopplad till transporter (modul A4). Det ska dock noteras att transport av spillmaterial från byggplatsen till avfallshantering är lagd på BY10. BY11 motsvarar därmed byggproduktionen minus transport av spillmaterial.

**Tabell 2:** Lista på byggdelar BY01-BY12 enligt IVLs kvalitetsrapport för LCA-beräkningar av byggnader.

| Byggdel | Namn |
|---|---|
| BY01 | Byggnadsisolering |
| BY02 | Trävaror, byggskivor, byggplåt |
| BY03 | Betong, betongvaror, murbruk och armering |
| BY04 | Invändiga ytskikt, snickerivaror och inredningar |
| BY05 | Byggvaror övrigt |
| BY06 | El, tele, data, styr och vitvaror |
| BY07 | VVS-produkter- och apparater |
| BY08 | Arbetsplatsens kemikalier |
| BY09 | Mark- och anläggningsprodukter |
| BY10 | Transport, fordon, maskiner |
| BY11 | Energivaror, bränsle |
| BY12 | Ogrupperad |

I dagsläget innehåller IVL Miljödatabas Bygg inte alla miljöpåverkanskategorier för alla livscykelresurser. Det vill säga, de beräkningar Skanska redan utfört i Anavitor utmynnade enbart i bedömning av klimatpåverkan varför kumulativ energianvändning har beräknats separat på ett mer schablonmässigt sätt (vilket beskrivs närmare i avsnitt 3.3 och 3.4). Arbete pågår med att komplettera dessa uppgifter i IVL Miljödatabas Bygg.

## 3.3 LCA-data för klimatpåverkan och energianvändning

I avsnitt 3.1 gavs en beskrivning av påverkanskategorierna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning (CED) som används för att kvantifiera byggnadens miljöbelastning. För att beräkna denna baserat på data om material- och bränsleanvändning inom projektet krävs LCA-data, det vill säga växthusgasutsläpp och energianvändning per enhet, till exempel per ton eller $m^3$ av ett visst material. I detta avsnitt beskrivs hur dessa data har tagits fram i detta projekt. I avsnitt 3.3.1 beskrivs LCA-

data för beräkning av uppströms klimatpåverkan och kumulativ energianvändning och i avsnitt 3.3.2 LCA-data som används för att göra beräkningar nedströms. Detta inkluderar också en beskrivning av vilken typ av data som har använts för olika processer samt en beskrivning av systemgränser för de data som har använts. Olika typer av data och systemgränser finns beskrivna i avsnitt 2.1.

### 3.3.1 Uppströms (byggprocessen – modul A1-A5)

Som tidigare nämnts har majoriteten av beräkningarna för klimatpåverkan av byggprocessen (modul A1-5) genomförts sedan tidigare av Skanska med hjälp av Anavitor-konceptet (se avsnitt 3.2). För de olika betongkvaliteter som används för Blå Jungfrun har Skanska använt produktspecifik data för att bedöma klimatpåverkan. Dessa data är baserade på uppgifter från Skanskas betongstationer samt de cementfabriker som levererat cement. Betong står för en stor viktandel (ca 90 procent) och är också en produkt förknippad med relativt hög klimatpåverkan. Det har därför ansetts extra viktigt att ha så bra data som möjligt för betongprodukter. De LCA-data som har tagits fram för betong skiljer sig något från de generella data som finns i IVL Miljödatabas Bygg. Detta beror främst på andel och slag av cement som används i recepten för bygg- och anläggningsbetong. Andra produkter än betong köps på spotmarknad och man vet därmed inte varifrån de kommer exakt. Skanska har därför använt generiska data från IVL Miljödatabas Bygg för att beräkna klimatpåverkan från dessa produkter representativa för den svenska och nordiska marknaden.

IVL:s miljödatabas innehåller LCA-data för de flesta byggprodukter som används inom den svenska bygg- och anläggningssektorn, samt data för transporter, maskiner, arbetsfordon, el, värme och andra energirelaterade processer. För elanvändning i byggproduktionen (modul A5) har nordisk elmix använts och för fjärrvärme är det data för Fortums levererade värme. När det gäller LCA-data för byggprodukter är dessa representativa för de byggprodukter som används i Sverige och på den nordiska marknaden. För material som köps på en större internationell spotmarknad, till exempel plaster och metaller såsom koppar och mässing, innehåller IVL: s databas data från publika databaser. I första hand har Ecoinvent använts. Då data från Ecoinvent inte har varit tillgängliga används istället PE International eller olika publika källor eller IVLs interna databaser från olika projekt.

Då tillgängliga data inte har ansetts anpassade till den svenska marknaden har IVL tagit fram uppdaterad LCA-data. Detta gäller för exempelvis svenska cement-, stål- och trävaror. För vissa byggresurser[5] samt arbetsfordon finns publicerade faktablad vilka beskriver hur IVL har tagit fram dessa LCA-data (Erlandsson 2010a-b; 2011; 2013). Alla de LCA-data som IVL har tagit fram har beräknats i LCA-mjukvaran GABI.

För flertalet produkter i IVL Miljödatabas Bygg finns de vanligaste miljöpåverkanskategorierna (klimatpåverkan, försurning, övergödning, marknära ozon, ozonnedbrytning, $CED_{fossil}$, $CED_{ej\ fossil}$). För produkter som har lagts in de senaste åren finns dock bara klimatpåverkan redovisad då endast denna typ av data har efterfrågats av kunderna. Metodiken som tillämpas i IVL Miljödatabas Bygg följer standarderna EN 15804 och ISO 21930. Dokumentationen följer ISO 14044. Underliggande data har tilldelats olika kvalitetsmått som kan användas för att bedöma kvalitet och

[5] Cement, fabriksbetong, krossprodukter, naturgrus, vägbeläggningar och prefabricerad betong

osäkerheter i hela beräkningen, från källdata i byggkalkylen till den färdiga LCA:n.

För materialgrupperna el, ventilation och VA var Skanskas beräkningar inte tillräckligt exakta i det syfte som ställts upp i projektet och exakta mängder för det som byggts in togs därför fram istället. I avsnitt 3.4.1 beskrivs hur materialmängder togs fram för dessa. För att beräkna klimatpåverkan baserat på dessa materialmängder användes generiska data från databasen ICE (Inventory of Carbon and Energy) version 2.0 (Circular Ecology, 2014). ICE innehåller information om inbyggd energi och klimatpåverkan för runt 200 olika byggmaterial. Med inbyggd energi/klimatpåverkan menas här den energi/klimatpåverkan som åtgår/orsakas av att utvinna, raffinera och processa råmaterial, transportera detta och tillverka produkter. För de allra flesta material finns klimatpåverkan redovisad i form av $CO_2$-ekvivalenter. För några material finns dock endastutsläpp av $CO_2$ redovisat på grund av databrist, vilket gör att klimatpåverkan blir något lägre än den varit om alla växthusgaser hade inkluderats.

Databasen ICE användes också för att ta fram data för CED för el, ventilation och VA-produkter. För övriga material var utgångspunkten att utnyttja CED-data från IVL:s miljödatabas. Dock finns sådana data endast inlagd för ungefär hälften av resurserna i databasen. Dessa data har därför hämtats också från KBOB (2012). Översiktliga CED-data har beräknats för byggprocessen (modul A1-5) genom att utgå ifrån de resurser som bidrar mest till klimatpåverkan från byggprocessen . Dessa representerar runt 80 procent av den totala klimatpåverkan. För dessa mest betydande miljöpåverkande resurserna har CED beräknats genom att ställa CED för en specifik resurs i förhållande till dess $CO_2$e-utsläpp. Därefter har ett slutgiltigt värde erhållits genom att anta att de resterande 20 procent har samma CED per utsläpp av koldioxid som de 80 procent mest betydande resurserna. IVL Miljödatabas Bygg kommer under 2015 uppdateras så att även $CED_{fossil}$ och $CED_{ej\ fossil}$ ska erhållas.

Klimatpåverkan och kumulativ energianvändning relaterat till produktionen av de olika byggnadsmaterialen påverkas naturligtvis av var de är producerade. I synnerhet när det gäller klimatpåverkan kan skillnaderna vara stora framför allt på grund av större eller mindre andel fossila bränslen för elproduktionen. För de byggvaror som produceras i Norden har det antagits att nordisk elmix används vid produktionen. Som tidigare nämnts används specifika data för betongsorterna i projektet varför bedömningen är att antagandena om elmix tillräckligt väl ska spegla aktuella förhållanden och inte ha inflytande över resultaten i nämnvärd omfattning.

### 3.3.2 Nedströms (energianvändning i driftskedet – modul B6)

För att beräkna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning i byggnadens driftskede behövs LCA-data för den el- och fjärrvärmemix som används. Sådana data finns till exempel i databaser som Ecoinvent och på energibolagens hemsidor, men det beslutades att uppdaterade data skulle tas fram till detta projekt. Nedan beskrivs hur dessa nya data har tagits fram för el och fjärrvärme. LCA-beräkningarna följer den metodik som beskrivs för alla byggprodukter och resurser som används för ett byggnadsverk under dess livscykel, dvs. standarden EN15804. EN 15804 är kopplad till byggproduktförordningen och hur den LCA-baserade miljövarudeklaration som anges i denna förordning bedömer miljöprestanda.

#### *3.3.2.1 Val av scenarier*

En LCA kan utföras med olika systemperspektiv. I en bokförings-LCA så används ofta medeldata för det aktuella energislaget,

där de uppkomna utsläppen fördelas mellan olika aktörer. I en konsekvens-LCA är marginaldata vanligt att använda för att studera vilken påverkan en förändrad energianvändning har på energisystemet. För att kunna beräkna hur stor miljöpåverkan som är associerad med en viss energianvändning som distribueras via ett nät behöver man definiera hur den producerade energins miljöbelastning ska fördelas. I de beräkningar som redovisas här används bokförings-LCA för att beskriva energianvändningen. I ett första skede i detta projekt har beräkningar gjorts avseende medelel samt produktionsspecifik el och residualmix:

- *Medelel.* Med detta synsätt anses den använda köpta energin motsvara den årliga försäljningsmixen (inklusive export och import) inom ett geografiskt givet nätområde.
- *Produktionsspecifik energi och residualfördelning.* Den mängd el som köps av kunder som gjort ett aktivt val, dvs. ursprungsmärkt el (t.ex. Bra Miljöval), används för de kunder som köpt sådan ursprungsmärkt energi. 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 rest kallas residualmix.

Ett viktigt syfte med projektet har varit att diskutera fördelningen avseende klimatpåverkan respektive energianvändning mellan uppströms och nedströms för ett nybyggt flerbostadshus i Sverige med låg-energiprofil i betong. Sådana procentuella fördelningar förekommer sedan tidigare i litteraturen och de beror i hög grad på de scenarier för driftens energianvändning som används. För att illustrera hur produktion av driftsenergi påverkar fördelningen mellan uppströms och nedströms så införs tre olika scenarier för energianvändning i driftskedet, se Tabell 3.

**Tabell 3:** Överblick av el- och fjärrvärmemix i de tre olika scenarierna för energianvändning i driftskedet.

| Scenario | El | Fjärrvärme |
|---|---|---|
| Nedströms Låg | Hög andel förnybara bränslen (baserat på SNF:s miljömärkta el) | Hög andel förnybara bränslen (baserat på data för Gävle fjärrvärmenät) |
| Nedströms Medel | Nordisk medelelmix | Svensk fjärrvärme |
| Nedströms Hög | Låg andel förnybara bränslen (baserat på nordisk residualelmix) | Storstadsnät |

De LCA data som används här är förankrade i styrgruppen för projektet och valen har gjorts för att resultatet ska var så generellt användbart som möjligt för lågenergihus. Ett tänkbart alternativ hade också varit att ta fram ett scenario utifrån den faktiska situationen i Blå Jungfrun i dag. Idag levereras fjärrvärme från storstadsnätet till Blå Jungfrun av Fortum samt fastighetsel med hög andel förnybart bränsle från Telge Energi. Eftersom elnäten är sammanbyggda indikerar det specifika valet Telge Energi en intention om i vilken riktning man vill verka för men påverkar inte elmixen i stort. Nordeuropeisk elmix hade också kunnat vara ett alternativ som möjligen ännu bättre belyser den faktiska situationen i Sverige idag. Poängen med scenarierna här är emellertid att illustrera hur val av energiscenario påverkar den procentuella fördelningen mellan uppströms och nedströms. Beräknade LCA-data för de el- och fjärrvärmemixer som används i denna rapport finns redovisat i Tabell 4. Notera att också nätförluster ingår i dessa värden. Hur beräkningarna har utförts beskrivs nedan.

**Tabell 4:** Beräknade LCA-data för el- och fjärrvärme. Notera att dessa värden inkluderar nätförluster.

| | Energislag | Klimatpåverkan (g $CO_2$e/kWh$_{el/värme}$) | Kumulativ energi (kWh/kWh$_{el/värme}$) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Fossil | Förnybar | Totalt |
| El | El med hög andel förnybara bränslen | 7,8 | | | 1,1 |
| | Nordisk medelelmix | 160 | | | 2,1 |
| | El med låg andel förnybara bränslen | 327 | | | 2,8 |
| Fjärr-värme | Fjärrvärme med hög andel förnybart | 30 | 0,12 | 0,54 | 0,66 |
| | Svensk fjärrvärmemedel | 97 | 0,29 | 0,50 | 0,79 |
| | Storstadsnät | 126 | 0,46 | 0,39 | 0,85 |

Notera att primärenergin är lägre än 1 kWh/kWh för fjärrvärme. Detta beror på den allokeringsmetod som ska tillämpas enligt EN15804 och EN15978, den så kallade alternativproduktionsmetoden. Samma allokeringsprincip används även i andra system och är i Sverige allmänt accepterad. Tillämpningen av denna allokeringsmetod påverkar inte bara primärenergianvändningen utan även koldioxidutsläppen.

#### *3.3.2.2 Elektricitet*

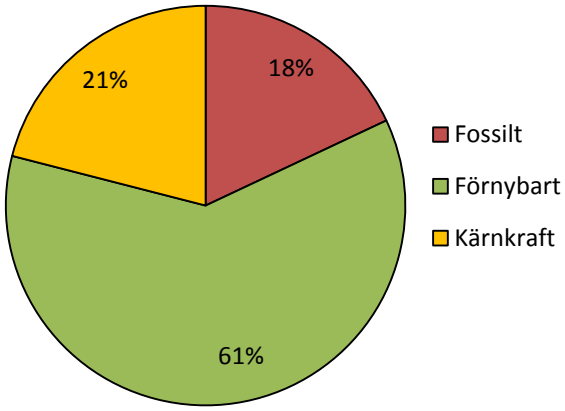
##### Medelel

Utifrån detta perspektiv så anses den använda elen vara ett genomsnitt av den årliga försäljningsmixen inom ett geografiskt område, i detta fall Norden. Data för elförsäljning i Norden finns bland annat redovisad i statistik från International Energy Agency (IEA, 2014), samt the European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E, 2012). ENTSO-E är en europeisk sammanslutning för systemoperatörer.

Datakällorna för el har gåtts igenom och sammanställts enligt följande: Elproduktionsdata för beräkningarna har hämtats från IEA (2014) och produktionsdata gäller för år 2009-2011. IEA:s data innehåller information om produktion av el från olika energikällor till exempel kol och kärnkraft. Under år 2009-2011 var Norden nettoimportör av el. Information om import och export är baserad på uppgifter från ENTSO-E (2012). År 2011 var Ryssland och Estland de länder som var nettoexportörer till Norden. Ryssland stod för den största andelen av nettoimporten på ca 89 %. Fördelningen av nettoimporten till Norden har i beräkningarna antagits vara den samma för alla tre år.

LCA-data för produktion av respektive elslag har främst hämtats från databasen Ecoinvent. Alla LCA-beräkningar har sedan utförts i LCA-verktyget Gabi. De LCA-data som har använts innehåller uppgifter om miljöpåverkan vilken kombineras med här framtagen statistik över olika elmixer. I LCA databasen Ecoinvent räknas all miljöpåverkan från avfallsförbränning som noll. Detta följer dock inte den metodik som anges i EN 15804 som följer ramdirektivet för avfall som anger att alla fjärvärmeverk med mera med en verkningsgrad över 60 % ska betraktas som energiproducenter och dess produkter, det vill säga fjärrvärme och el, ska belastas med de utsläpp och resursanvändning som sker vid denna anläggning. Data för avfallsförbränning används därför istället från PE International, som även inkluderar utsläpp från sådan avfallsförbränning. I praktiken innebär detta att andelen fossilt kol som avfallet innehåller, 40-50 %, belastar den el och värme som produceras. I länder som Sverige med hög andel avfallsförbränning är detta en betydande del av elens fossila utsläpp. I många äldre uppgifter är dessa utsläpp

antingen satt till noll eller så antas att avfallet bara innehåller runt 10 % material av fossilt ursprung. Figur 5 visar fördelningen mellan fossila och förnybara bränslen samt kärnkraft i nordisk medelelmix som används i scenario *Nedströms Medel*.




**Figur 5:** Fördelning av energislag i nordisk medelelmix. Medeldata för 2009-2011.

### Produktionsspecifik el och residualmix

EU:s elmarknadsdirektiv 2003/54/EG ställer krav på att all el ska ursprungsmärkas (Energimarknadsinspektionen, 2014a). Syftet med ursprungsgarantier är att göra ursprungsmärkning av el tillförlitlig (SVK, 2014). Tillämpningen av regelverket för ursprungsgarantier kan skilja sig åt mellan olika EU-länder. Syftet är dock detsamma i alla länder.

Alla som producerar el har rätt att få ursprungsgarantier utfärdade, ansökan om detta görs till Energimyndigheten i Sverige (SVK, 2014). En ursprungsgaranti ges för varje producerad megawattimme (MWh) el och kan fås för all typ av elproduktion. Ursprungsgarantierna kan säljas och köpas på en öppen marknad och ska annulleras när de använts, det vill säga det som bokförs är var den ursprungsmärkta elen köpts. Om en ursprungsgaranti inte har använts inom ett år så annulleras den. Svenska Kraftnät utfärdar ursprungsgarantier som ges elektroniskt i systemet CESAR.

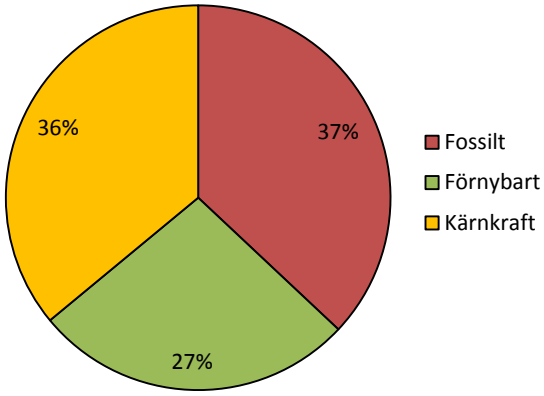
Enligt lag ska alla elhandlare på eller i samband med fakturor lämna uppgift om varje energikällas andel av den genomsnittliga sammansättningen av energikällor(Energimarknadsinspektionen, 2014a). Detta innebär att de ska informera sina kunder om vilka energikällor som använts, hur stora $CO_2$-utsläpp de orsakat (vid förbränning) samt hur mycket kärnbränsleavfall som uppkommit. Energikällorna ska redovisas i minst tre kategorier; förnybart, fossilt och kärnkraft. Om elhandlarna har köpt ursprungsgarantier så ska dessa redovisas annars redovisas sammansättning för en residualmix som Energimarknadsinspektionen tagit fram. Energimarknadsinspektionen presenterar varje år information om den nordiska residualmixen, dess sammansättning uppdelat på kategorierna fossilt, förnybart och kärnkraft samt utsläpp av växthusgaser och kärnbränsleavfall. Siffrorna tas fram av Grexel (2014).

Enligt Energimarknadsinspektionen så är handeln med ursprungsgarantierna i sin linda (Brodin, 2014). Syftet med systemet var främst att skapa ett handelssystem. Det finns frågetecken på hur väl systemet med ursprungsgarantier och residualmix representerar den faktiska situationen. Orsaker till detta är bland annat att handel med ursprungsgarantier och fysisk el sker separat vilket kan göra det svårt att beräkna residualmixen i slutet av kedjan. Beräkningsgrunderna för residualmixen är olika i olika nordiska länder vilket skapar en risk för dubbelbokföring, exempelvis säljer Norge nästan alla sina ursprungsgarantier till Sverige. Av denna anledning är det mer robust att använda elscenarion som utgår ifrån den nordiska markanden och inte enskilda länder inom systemet. En nordisk mix avspeglar på så sätt vad som sålts på marknaden oavsett i vilket land elen produceras. Utvecklingen kommer att leda till större andel ursprungsmärkning och det

blir då allt viktigare att skilja på producerad el i ett land och den el som sålds dvs vad marknaden faktiskt har ”konsumerat”.

Det finns inga nationella riktlinjer för hur miljöpåverkan för de olika energikällor som omfattas av ursprungsgarantier ska beräknas. I en rapport av Energimarknads-inspektionen (2011) rekommenderas dock följande: ”Som underlag för beräkningar av miljöpåverkan för ursprungsspecificerade energikällor bör emissionsfaktorer och värmevärden som används i handels-systemet för utsläppsrätter i enlighet med Naturvårdverkets föreskrifter om utsläpps-rätter för koldioxid (NFS2006:8) användas i kombination med det beräkningsverktyg avseende koldioxidutsläpp för olika energislag som utarbetats i Jernkontorets Energihandbok 52 utifrån Naturvårds-verkets data. Detta verktyg är lätthanterligt och tydligt och rekommenderas av inspektionen för beräkning av koldioxid-utsläpp för specificerade energislag.”

Jernkontorets Energihandboks (Jernkontor-et, 2012) beräkningar resulterar i direkta utsläpp, inget livscykelperspektiv fås med dessa beräkningar, enbart ”emissions-faktorer”. Det är därför viktigt att skilja på om miljöprestanda bara baseras på emissionsfaktorer eller LCA-data som även tar hänsyn till hur bränsle framställs och hur eventuellt avfall hanteras. För att beräkna den nordiska residualmixen för el med ett livscykelperspektiv så har data om energislag i mixen från Energimarknads-inspektionen använts (Energimarknads-inspektionen, 2014b). Dessa data har beräknats av Grexel enligt metodiken RE-DISS (2012). De redovisade energislagen är uppdelade i tre kategorier fossilt, förnybart och kärnkraft.[6] Figur 6 visar fördelningen mellan fossila och förnybara bränslen samt kärnkraft i nordisk residualelmix 2009-2011.




**Figur 6:**Fördelning av energislag i nordisk residualmix. Medeldata för 2009-2011.

Vid beräkningarna så har andelen fossilt, förnybart och kärnkraft kombinerats med de grunddata som användes för beräkningar av medelel från IEA (2014), genom att IEA har en bättre upplösning över vilka bränslen som faktiskt används. LCA-data för produk-tion av respektive elslag har hämtats från främst databasen Ecoinvent och beräknats i LCA-verktyget Gabi. De använda data-baserna innehåller uppgifter om miljö-påverkan baserat på ett livscykelperspektiv.

#### *3.3.2.3 Fjärrvärme*

För att beräkna fjärrvärmens miljöpåverkan rekommenderas att beräkningarna grundar sig på de insatta bränslena som använts vid fjärrvärmeproduktionen. Beräkningarna kan göras antingen för ett genomsnittligt svenskt fjärrvärmenät, alternativt för det lokala nät där huset är lokaliserat. Notera att denna typ av data lämpar sig främst om syftet är att beskriva hela Sveriges utsläpp eller påverkan från ett medelhus som använder fjärrvärme och går aldrig att ”köpa” i praktiken. Data för tillförd energi till svensk fjärrvärmeproduktion finns bland annat i *Energiläget 2013* (STEM, 2013) och statistik från Svensk Fjärvärme (2014).

[6] Data är baserade på år 2011-2012, då inga andra dataset finns tillgängliga. 2011 var första året som denna typ av siffror togs fram av Energimarknadsinspektionen.

I ett kraftvärmeverk produceras både el och värme samtidigt, vilket finns i ca 2/3 av Sveriges avfallsförbränningsanläggningar. Enligt avfallsdirektivet ska samtliga fjärrvärmeanläggningar i Sverige klassas som energiåtervinning (det vill säga verkningsgraden räknat på värmeproduktion är större än 60 %). I praktiken betyder det att det är den el och fjärrvärme som får bära ansvaret för de emissioner och miljöpåverkan som uppstår vid fjärrvärmeanläggningen, enligt principen om att förorenaren betalar *(eng. Polluter Pays Principle).*

Det finns olika sätt att dela upp bränsleanvändningen och koldioxidutsläppen mellan el- respektive fjärrvärmeproduktionen, där alternativproduktionsmetoden är den metod som är vanligast i miljövarudeklarationer (EPD). Alternativproduktionsmetoden innebär att man räknar ut hur mycket bränslen som skulle ha krävts för motsvarande produktion av el och värme separat (Environdec 2011). Metoden resulterar i att CED för levererad fjärrvärme ofta blir lägre än den levererade energin. Detta kan motiveras med att el har en högre energimässig kvalitet.

LCA-beräkningarna som genomförts för fjärrvärme utgår ifrån Svensk Fjärrvärmes årliga statistik (Svensk Fjärrvärme, 2014). Svensk Fjärrvärme använder sig av alternativproduktionsmetoden vilken också rekommenderas av EN 15804. Tre olika fjärrvärmenät (scenarier) har valts ut i projektet, dessa är ett *"Storstadsnät"* med många olika leverantörer (baserat på uppgifter för Stockholms nät med uppgifter från Fortum i Stockholm), *"Fjärrvärme med hög andel förnybara bränslen"* (baserad på uppgifter från Gävle Energi) och ett *"Svensk fjärrvärmemedel"*, det vill säga ett medelvärde för alla fjärrvärmenät i Sverige (baserat på uppgifter från Svensk Fjärrvärme). Blå Jungfrun är beläget i Stockholm och därför var det naturligt att välja Stockholmsnätet som underlag till *"Storstadsnätet".* LCA-beräkningarna är baserade på medelvärden för fjärrvärmeproduktionen i respektive region mellan åren 2010 och 2012.

Både Fortum och Gävle Energi har kraftvärmeproduktion, det vill säga att det har anläggningar som producerar el och värme. Allokeringsmetoden som har används mellan el- och värmeproduktionen är alternativproduktionsmetoden. Allokeringen är utförd av Svensk Fjärrvärme. Svensk Fjärrvärme klassar inte spillvärme som varken förnybar eller fossil, då både resursanvändningen och miljöpåverkan sätts till noll. I projektet har vi noterat denna brist, men bedömmar att det i många fall (men inte alla) rör sig om förny-bara resurser varför bidraget till klimatpåverkan då inte antas vara signifikant.

Fortum i Stockholm köper in hetvatten från andra fjärrvärmeföretag och spillvärme från ett annat företag. Mängden köpt hetvatten varierar kraftigt mellan de tre valda åren. År 2010 kom 0,1 % av den levererade värme till slutkund från köpt hetvatten medan år 2012 var samma värde 12,5 %. Enligt Fortum i Stockholm (Milander, 2014) så köps hetvatten från fyra olika aktörer. Dessa aktörer är Söder Energi, Norr Energi E. ON och Öppen Fjärrvärme. Söder Energi är den största aktören som säljer hetvatten till Fortum. På grund av detta har all köpt hetvatten antagits komma ifrån Söder Energi. År 2011 lämnade Söder Energi inte några produktionsdata till Svensk Fjärrvärme och därför antogs 2011 års bränslemix vara den samma för Söder Energi som den var år 2010.

LCA-data för utvinning och förbränning av olika bränsle har främst hämtats från databasen PE International och beräknats i LCA-verktyget Gabi. De använda dataseten

innehåller uppgifter om miljöpåverkan baserat på ett livscykelperspektiv.

## 3.4 Datainventering - Omfattning och beräkningsantaganden modul för modul

Standarden EN 15978 beskriver vilka aktiviteter som ska ingå i varje modul, hur beräkningar ska genomföras och hur resultatet ska presenteras. I vissa fall har beräkningarna utförts på ett annat sätt i det här projektet än vad som anges i EN 15978. Orsaken till detta är att det dataunderlag som har funnits tillgängligt inte varit komplett i relation till vad som beskrivs i standarden. Nedan följer en beskrivning av de moduler som ingår och vilka klimatpåverkande/energikrävande aktiviteter som har inkluderats för varje modul, samt en beskrivning av de beräkningsantaganden som har gjorts då klimatpåverkan och kumulativ energianvändning har beräknats för modulerna.

### 3.4.1 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 beräknas inte modulerna A1, A2 och A3 separat, utan aggregeras. Detta förhållningssätt följer de europeiska standarderna EN 15804 och EN 15978 och i många databaser så är det så LCA-data görs tillgängliga.

När det gäller klimatpåverkan har den mesta indata fåtts från Anavitor i form av $CO_2$-ekvivalenter för materialproduktion, då Skanska redan beräknat detta (se även avsnitt 3.2). I Skanskas beräkningar var data om el-, VA- och ventilationsprodukter hanterat alltför schablonmässigt. I projektet samlades därför kompletterande data för att mängda upp faktiska använda materialmängder i dessa produkttyper.

Klimatpåverkan och kumulativ energianvändning för elutrustning beräknades baserat på den faktiska mängden rör och kablar samt materialmängden i dessa (olika typer av plast samt koppar och förzinkad plåt). För VA beräknades en genomsnittlig summa av material i mark, bottenplatta, vertikala stammar och våningsplan per bruksarea (BRA). Total materialmängd för alla fyra husen fås då genom multiplikation med den totala BRA för kvarteret. Materialmängden för ventilationsaggregatet bestämdes med hjälp av produktens byggvarudeklaration och en materialspecifikation för den order som Skanska gjorde. Endast framställning av de ingående materialen har inkluderats. Transporter och produktion av kablar, rör, ventilationsaggregat etc. har uteslutits. Totalt sett ingår alla inbyggda material och produkter i husen i beräkningen förutom de pekskärmar, så kallade Sbox, som finns i lägenheterna.

### 3.4.2 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.

I det här projektet inkluderas transport av material och produkter från tillverkning till byggarbetsplatsen. Transporter av konstruktionsutrustning samt materialförluster under transport antas vara försumbara och inkluderas därför inte.

Arbetsresor till och från byggarbetsplatsen ingår ej i beräkningarna enligt standarden. Klimatpåverkan från transporter fås av Skanska i form av $CO_2$-ekvivalenter. Deras beräkningar är baserade på transportavstånd och antaganden om typ av bränsle och bränsleanvändning per tonkm.

### 3.4.3 Byggproduktion (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 byggplatsen, tillfälliga produktionsanläggningar, produktion och omvandling av material på byggplasten, tillförsel av värme, kyla, ventilation etc. under konstruktionsprocessen, installation av produkter, vattenanvändning för att kyla maskiner och städa, transport och behandling av genererat avfall. Produktion och transporter av spillmaterial ligger också under byggproduktionen (modul A5).

Skanskas beräkningar av klimatpåverkan är baserat på de mängder el, fjärrvärme och bränsle som har använts på själva byggplatsen under uppförandet av Blå Jungfrun 2008-2010. Detta inkluderar också bränsle för hyrda maskiner. På grund av databrist inkluderas inte den energi som åtgår för beredningsarbete av marken, vilket är ett avsteg från EN 15978. Blå Jungfrun anlades på jungfrulig mark och marken bereddes genom sprängning och pålningsarbeten.

Uppgifter för köpt el och fjärrvärme som ligger till grund för beräkningarna inom A5 uppgår till 1 107 MWh el samt 108 MWh fjärrvärme. Dieselanvändning redovisas för närvarande i Anavitor bara som utsläpp varför energianvändningen för exempelvis interna transporter får beräknas baserat på utsläppsdata. I byggproduktionen (modul A5) för Blå Jungfrun ingår också produktion och borttransport av det material som blir till spill på byggplatsen, se avsnitt 3.2. Detta innebär att tillverkning, transport och avfallshantering av material som blir spill allokeras till A5.

### 3.4.4 Underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4 och B5)

I standarden EN 15978 finns det fyra delmoduler i driftskedet som relaterar till underhåll, reparation utbyte och renovering, se Figur 3. Nedan ges en översiktlig beskrivning av dessa moduler.

**Modul B2 – Underhåll:** Inkluderar planerat underhåll som krävs för byggnadens funktionalitet, till exempel städning och utbyte och underhåll av slitna delar.

**Modul B3 – Reparation:** Inkluderar åtgärder som det typiskt inte planeras för under byggnadens livstid, till exempel åtgärder som måste genomföras till följd av en skada.

**Modul B4 – Utbyte:** 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 så 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.

**Modul B5 – Renovering:** Innebär mycket omfattande åtgärder så att byggnadens ursprungliga prestanda uppnås igen, åtminstone för en betydande del av byggnaden.

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 som krävs för åtgärden, transport av detta till byggnaden, relaterade

arbetsprocesser, och avfallshantering av överblivet material, trasiga produkter, etc.

Skanska har inte beräknat klimatpåverkan för underhåll, utbyte etc. i Anavitor, utan det har gjorts manuellt i detta projekt. Vid beräkningen har vissa förenklingar gjorts, vilket innebär avsteg från standarden. För det första inkluderas inom varje modul endast materialproduktionen då det bedöms att transporter, installationsprocesser och avfallshantering står för en mindre del av klimatpåverkan. För det andra inkluderas inte reparation (modul B3), eftersom det är svårt att uppskatta när reparation är nödvändigt och hur omfattande åtgärder som i så fall krävs. Renovering (B5) inkluderas bara i scenariot när BBR-huset renoveras till passivhusstandard efter 50 år av en total livslängd på 100 år (se figur 23).

Både yttre och inre åtgärder inkluderas. Med yttre åtgärder avses här åtgärder relaterade till byggnadens klimatskal. Inre underhåll har begränsats till husets installationer, det vill säga el, ventilation och VVS. Inre lägenhetsunderhåll har inte inkluderats då det delvis är upp till lägenhetsinnehavaren. Inte heller inkluderas inre underhåll av gemensamhetsutrymmen eftersom detta främst innebär ytmålning, vilket inte är en stor klimatpåverkande åtgärd.

Flerbostadshus behöver en omfattande renovering ungefär vart femtionde år. Under tiden underhålls klimatskalet och delar som har kortare livslängd än 50 år byts ut. Underhåll definieras här som periodiskt återkommande åtgärder som är nödvändiga för att upprätthålla funktionen hos en byggdel, medan utbyte sker i slutet av en byggdels livslängd och innebär att hela den byggdelen byts ut. Intervall för underhåll och utbyten är i detta projekt hämtade från en sammanställning som IVL har gjort[7]. Denna innehåller ett medelvärde baserat på flera olika källor. Det har antagits att läget på huset är *normalt*, till skillnad från *skyddat* eller *utsatt*.

Enligt EN 15978 tillåts endast ett helt antal utbyten. Om längden på analysperioden och den uppskattade livslängden för byggdelen inte resulterar i ett helt antal utbyten så ska värdet avrundas uppåt till närmaste heltal. Om den uppskattade livslängden för produkter och komponenter är längre än byggnadens livslängd inkluderas inte utbyte i beräkningarna.

Tabell 5 visar de åtgärder som genomförs för de inkluderade byggdelarna, samt hur många gånger som åtgärden genomförs då analysperioden är 50 respektive 100 år. Baserat på dessa data beräknas den totala klimatpåverkan för underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4-5). Materialåtgång för varje yttre åtgärd är baserad på underhållsytor givna av Skanska (t.ex. total fasadyta), medan materialåtgång för installationer baseras på de materialmängder som togs fram för beräkningarna i byggprocessen (se avsnitt 3.4.1). LCA-data har hämtats från databasen ICE.

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

[7] Preliminara resultat från SBUF-projektet 12812: Livslängdsdata och återvinningsscenarion för LCA-beräkningar.

### 3.4.5 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.

Klimatpåverkan för energianvändningen har beräknats i Gabi och sedan lagts till i sammanställningarna som redovisas här. Uppmätta värden för användning av varmvatten, elvärme, fjärrvärme och fastighetsel finns för de tre första åren som husen var i drift, 2011-2013. Det är inte känt hur energianvändningen kan fördelas på de aktiviteter som listas i EN 15978. De uppmätta värdena har av Skanska satts in i SVEBY:s mall för energiuppföljning. Det har antagits att varmvatten, elvärme, fjärrvärme och fastighetsel har samma procentuella bidrag till energianvändningen enligt SVEBY som till de uppmätta värdena. Eftersom det inte föreligger några stora skillnader över åren 2011-2013 har ett medelvärde för dessa tre år använts för beräkningarna. För hushållsel har en schablon på 30 kWh/m$^2$ $A_{temp}$ och år använts enligt SVEBY:s rekommendationer. De värden som har använts för beräkningarna återfinns i

**Tabell 6**. Dessa värden multipliceras med längden på analysperioden för att få en total energianvändning för byggnadens drift-skede. Inga antaganden om förändrad energianvändning under byggnadens driftskede läggs in vilket är beräknings-praxis men något som inte styrs av standarden.

**Tabell 5:** Underhålls-, renoverings- och utbytesaktiviteter som inkluderats i beräkningarna.

| **Byggdel** | **Utbyte** | **50 år** | **100 år** |
|---|---|---|---|
| Papptak | Taket stryks om | 3 | 6 |
| | Taket byts ut | 1 | 3 |
| Fasad i tunnputs | 10 % av fasadens betong byts ut/lagas | 1 | 3 |
| | 10 % av fasaden putsas om | 1 | 3 |
| | Hela fasaden putsas om | 1 | 2 |
| Aluminiumfönster | Fönster målas om | 4 | 9 |
| | Fönster byts ut | 1 | 2 |
| Trädörrar | Dörrar målas om | 4 | 9 |
| | Dörrar byts ut | 1 | 2 |
| Balkong i betong med fasad i plexiglas | 5 % av betongen byts ut | 1 | 3 |
| | Hela betongplattan byts ut | - | 1 |
| | Plexiglaset byts ut | 2 | 4 |
| El | 5 % av komponenterna byts ut | 1 | 3 |
| | Helt utbyte | - | 1 |
| Ventilation | Helt utbyte | 1 | 3 |
| VVS | 10 % av komponenterna byts ut | 1 | 3 |
| | Helt utbyte | - | 1 |

**Tabell 6:** Använda värden för användning av el och fjärrvärme i driftskedet.

| El och fjärrvärme | kWh/m$^2$A$_{temp}$ och år |
|---|---|
| Fastighetsel | 8 |
| Fjärrvärme | 17 |
| Varmvatten | 25 |
| Elvärme | 4 |
| Hushållsel | 30 |
| Totalt, exklusive hushållsel | 54 |

### 3.4.6 Slutskede (modul C1-4)

I standarden EN 15978 sägs en byggnad ha nått sitt slutskede när den inte längre är i drift och det inte längre finns planer på att använda byggnaden. Slutskedet för en byggnad delas in i fyra delmoduler: Rivning, transport, avfallshantering och slut-hantering, se Figur 3. Nedan beskrivs de olika delmodulerna kortfattat.

**Modul C1 – Rivning:** Nedmontering av byggnad och sortering av byggmaterial på plats

**Modul C2 – Transport:** Alla transporter av rivningsavfallet

**Modul C3 – Avfallshantering (för återvinning, återtagande eller återanvändning):** Processer som krävs för att materialet ska kunna räknas som ett sekundärt material eller bränsle.

**Modul C4 – Sluthantering:** Processer relaterade till bortskaffande av material (t.ex. deponi eller förbränning), samt hantering av avfallsanläggningar. Miljö-påverkan relaterad till bortskaffande av avfall räknas till byggnadens livscykel, enligt principen att förorenaren betalar *(Polluter Pays Principle, PPP).* Om processen genererar energi räknas nyttan från användning av denna energi till modul D, vilket inte ingår i detta projekt.

Alla delmoduler C1-4 inkluderas i detta projekt. Beräkningarna av klimatpåverkan för rivningen har gjorts manuellt inom detta projekt. En uppskattning av det arbete som krävs för att riva byggnaden har gjorts baserat på ett tidigare genomfört examens-arbete (Kuikka, 2012). Det har antagits att det antal arbetstimmar per m$^2$ som presenteras kan appliceras också för ett hus av Blå Jungfruns typ. Vid beräkningarna har det antagits 0,03 arbetstimmar/m$^2$ och en bränsleanvändning om 28 liter/timme.

Även när det gäller sträckor för transport av rivningsavfallet har ett generiskt värde om 15 km antagits baserat på tidigare studier. LCA-data är hämtade från databaser som ICE, KBOB och Ecoinvent 2.0. Ingen hänsyn har tagits till framtida energieffektiviseringar.

Tabell 7visar de byggdelar som har inkluderats i beräkningen samt material-hantering för varje byggdel. Detta baseras på Sveriges Byggindustriers riktlinjer för hantering av rivningsavfall (Sveriges Byggindustrier, 2013) samt den samman-ställning Magnusson (2013) gjort för hantering av rivningsavfall. Övriga bygg-delar står för en liten del av klimatpåverkan från byggprocessen (modul A) och av den totala materialvikten och borde därför inte ha stor påverkan på resultatet.

**Tabell 7:** Byggdelar och materialhantering i slutskedet (modul C).

| **Byggdel** | **Materialhantering** |
|---|---|
| Betong | Krossning och återvinning som utfyllnad |
| VST-skiva | Krossning och skiktning följt av förbränning av organiskt material och deponering av inert material |
| Armering | Återvinning |
| EPS-isolering | Förbränning |
| Mineralull | Deponi |
| Gipsskivor | Deponi |
| Installationer (el, vent, VVS) | Förbränning av plast, deponering av mineralull, återvinning av metaller |
| Fönsterglas | Krossning följt av deponi |
| Fönsterramar | Återvinning av metaller |
| Papptak | Förbränning |
| Dörrar | Krossning och flisning följt av förbränning |
| Träreglar[8] | Krossning och flisning följt av förbränning |

[8] Träreglar ingår inte i den ursprungliga konstruktionen, men däremot i ett av de scenarier som beskrivs i kapitel 1.1.

# 4 Beskrivning av Blå Jungfrun

**Figur 7:** Kvarteret Blå Jungfrun. Foto: Jan Särnesjö

I projektet studeras ett nybyggt flerfamiljshus med lågenergiprofil som kan ses som förhållandevis representativt för dagens byggande av denna typ. Det valda kvarteret, Blå Jungfrun, ligger i Hökarängen, en mil söder om Stockholm City. Projektet beställdes av Svenska Bostäder och utfördes av Skanska i en totalentreprenad. Kvarteret består av fyra lamellhus med totalt 97 lägenheter om 2-5 rum och kök. Den totala boarean är 8 173 m² ($A_{temp}$= 11 003 m²). Projektet påbörjades 2008 och de sista hyresgästerna flyttade in hösten 2010. Byggnaderna är projekterade för mycket låg specifik energianvändning och uppfyller de passivhuskriterier som ställs av Forum för energieffektiva byggnader, FEBY (FEBY, 2007). Figur 7 visar en bild på Blå Jungfrun.

För att få en tät konstruktion och därmed god energieffektivitet är husens stommar byggda enligt VST-systemet, vilket är en metod för att bygga platsgjutna väggar som innebär att prefabricerade formelement (VST-skivor) lyfts på plats och sedan gjuts igen med betong. Skalformarna består av två 24 mm tjocka cementbundna fiberskivor. De tillverkas efter förutsättningar i det aktuella projektet, inklusive öppningar för dörrar och fönster, installationshål, etc. och levereras med armering. Efter montage fylls de med självkompakterande betong och på sätt skapas en platsgjuten vägg (Svensk Betong, u.d.). Figur 8 visar bilder på installation av VST-systemet vid konstruktion av Blå Jungfrun. Väggarna isoleras med 250 mm cellplast som placeras direkt på skalformen. Vindarna är isolerade med 500 mm cellplast.

**Figur 8:** VST-systemet med skalformar som fylls med betong (Skanska, u.d.).

Huruvida Blå Jungfrun är representativt för dagens lågenergibyggande med betongstomme har diskuterats i projektets styr- och referensgrupper. VST-systemet är möjligen inte typiskt men ger en mycket tät konstruktion vilket är centralt för att uppnå en energiprestanda som i princip klarar passivhuskraven enligt FEBY (FEBY, 2007). I relation till projektets syfte är en av de viktigaste frågorna om de betongmängder som används kan ses som representativa.

Värme tillförs främst via FTX-ventilationen som har en roterande värmeväxlare. Tilluft tas in via taket och leds genom värmeväxlaren där den värms till drygt 20°C med hjälp av värmen i frånluften som tas från badrum och kök. (Forcering genom kökskåpan går inte via värmeväxlaren.) Fjärrvärme används för att värma vatten och allmänna utrymmen, samt tilluften i värmeväxlaren. I sovrum, vardagsrum och badrum finns små värmeelement som kan användas då värmen i tilluften inte räcker till. De boende kan följa sin energianvändning med hjälp av en display (SBox) som finns i varje lägenhet. Användning av varm- och kallvatten, hushållsel och komplementvärme mäts timvis och debiteras hushållen individuellt. Byggnadernas energibehov följs upp i detalj 2011-2015. Energianvändningen sammanställs varje månad och stäms av mot beräknade värden. För åren 2011-2013 låg den uppmätta specifika energianvändningen på 53,2-54,0 kWh/m$^2$ $A_{temp}$ och år.

Tabell 8 visar Blå Jungfruns betongdimensioner på bjälklag, bärande innerväggar och platta på mark, jämfört med en typisk nykonstruktion av flerfamiljshus. Tabellen klargör att det inte är några stora skillnader och man kan konstatera att Blå Jungfrun är ett bra exempel på hur man idag kan bygga ett lågenergihus med en betongkonstruktion. Det ska emellertid tilläggas att Blå Jungfrun inte har något garage i källaren, vilket annars är vanligt i nybyggda hus i dag. Av denna anledning genomfördes en uppskattning av tillkommande material och processer för ett hypotetiskt garage. Denna beräkning redovisas i avsnitt 6.1.

**Tabell 8:** Betongdimensioner på bjälklag, bärande innerväggar och platta på mark i Blå Jungfrun jämfört med typisk nykonstruktion av flerfamiljshus (Kellner, 2014; Larsson, 2014).

| **Byggdel** | **Blå Jungfrun** | **Typisk nykonstruktion flerfamiljshus** |
|---|---|---|
| **Bjälklag** | 300 mm | 250-300 mm |
| **Bärande innerväggar** | 200 mm + 2x24 mm cementbunden spånskiva | 180-200 mm |
| **Platta på mark** | 160-200 mm | 200 mm |

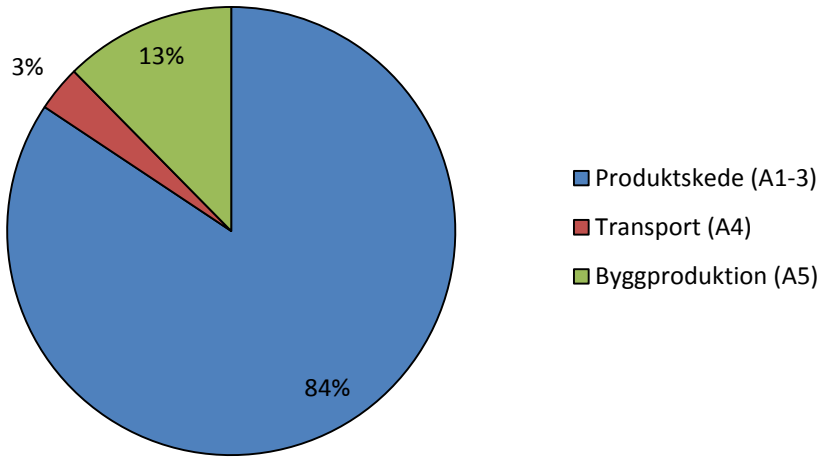
# 5 Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av studien. I avsnitt 5.1 beskrivs total uppströms klimatpåverkan fördelat på produktskedet (modul A3), transporter (modul A4) och byggproduktionen (modul A5), samt fördelat på byggdelar och betydande resurser. Eftersom kumulativ energianvändning för byggprocessen (modul A1-5) har beräknats mer schablonmässigt ges endast en kortfattad beskrivning av detta resultat i avsnitt 5.2. I avsnitt 5.3 beskrivs fördelning av den totala klimatpåverkan under byggnadens livslängd på de olika modulerna A-C.

## 5.1 Uppströms klimatpåverkan

Klimatpåverkan uppströms (från byggprocessen – modul A) orsakas främst av materialproduktionen, det vill säga modul A1-3. Materialproduktionen står för hela 84 % av klimatpåverkan uppströms, medan själva konstruktionen och transporterna till byggplatsen ger ett relativt litet bidrag, se Figur 9.

Total klimatpåverkan och klimatpåverkan fördelat på moduler presenteras också för hela Blå Jungfrun och per m² $A_{temp}$ i Tabell 9.



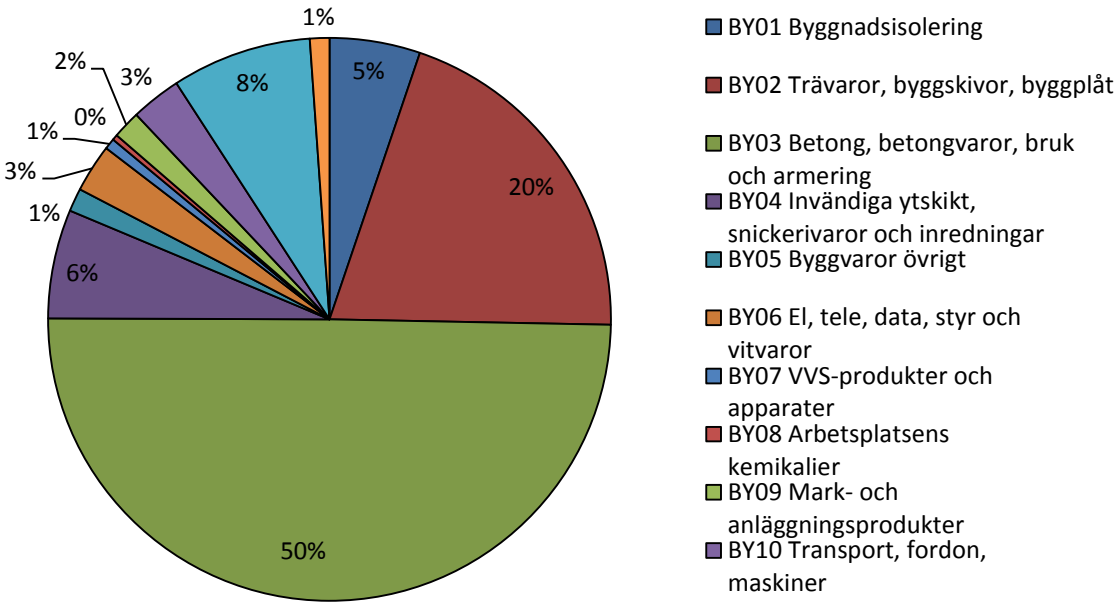

**Figur 9:** Bidrag från livscykelfaser till total klimatpåverkan uppströms.

**Tabell 9:** Byggprocessens klimatpåverkan fördelat på moduler.

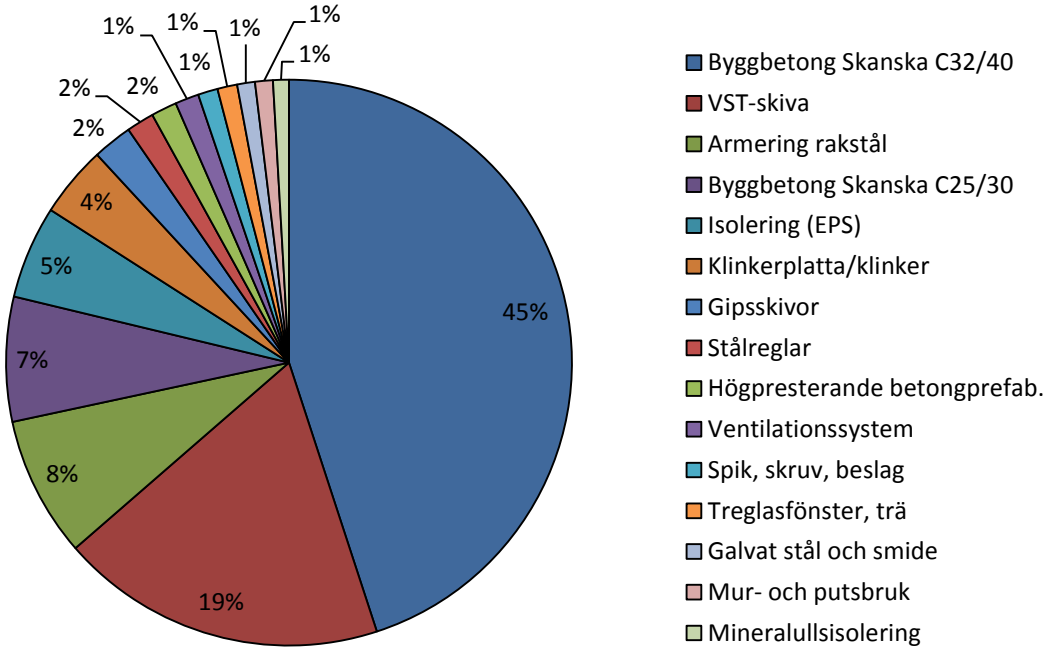
| Modul | Klimatpåverkan (kg $CO_2$-ekv.) | Klimatpåverkan (kg $CO_2$-ekv./m² $A_{temp}$) |
|---|---|---|
| Produktskede (A1-3) | 3 258 590 | 296 |
| Transporter till byggplatsen (A4) | 126 687 | 12 |
| Byggproduktion (A5) | 478 418 | 43 |
| TOTAL A1-5 | 3 863 695 | 351 |

Vilka byggdelar och processer som bidrar mest till klimatpåverkan uppströms illustreras i Figur 10. Notera att figuren visar bidraget till total klimatpåverkan från alla moduler A1-5 i byggprocessen, som beskrivits i avsnitt 3.2. Den byggdel som bidrar mest till klimatpåverkan från uppströmsaktiviteter är Betong, -varor, bruk och armering (BY03), det vill säga själva stommen. Också betydande är trävaror, byggskivor och byggplåt (BY02), Invändiga ytskikt, snickerier och inredningar (BY04), Energivaror och bränslen (BY11), samt Byggnadsisolering (BY01).

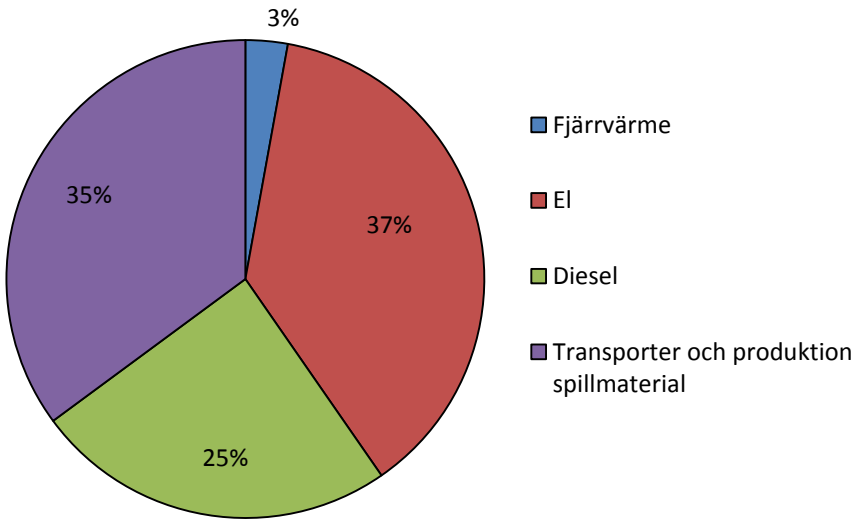
Installationer relaterade till el och VVS, kemikalier, mark- och anläggnings-produkter samt transport, fordon och maskiner ger inte några större bidrag till klimatpåverkan. En uppdelning av bygg-processen (modul A1-5) kan även göras utifrån vilka poster i kalkylen som bidrar mest till klimatpåverkan, de så kallade mest betydande resurserna. Detta illustreras i Figur 11. Byggbetong står för knappt 50 % av klimatpåverkan. Andra betydande resurser är VST-skivan (som innehåller cement), armering, isolering och klinker-plattor. Övriga resurser, ett par tusen komponenter, står för resterande 12 % av klimatpåverkan uppströms.




**Figur 10:** Bidrag från byggdelar till total klimatpåverkan uppströms.




**Figur 11:** De resurser som bidrar mest till klimatpåverkan uppströms.

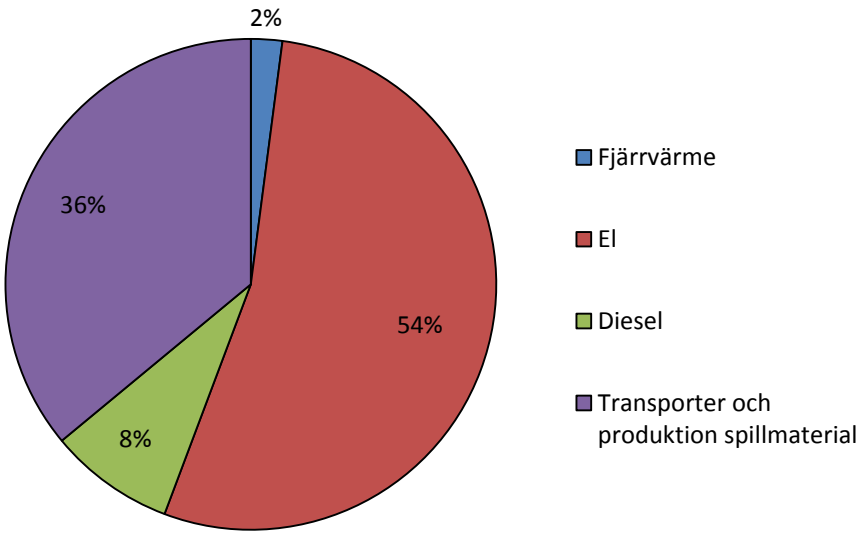



**Figur 12:** Bidrag till klimatpåverkan från byggproduktionen (modul A5).

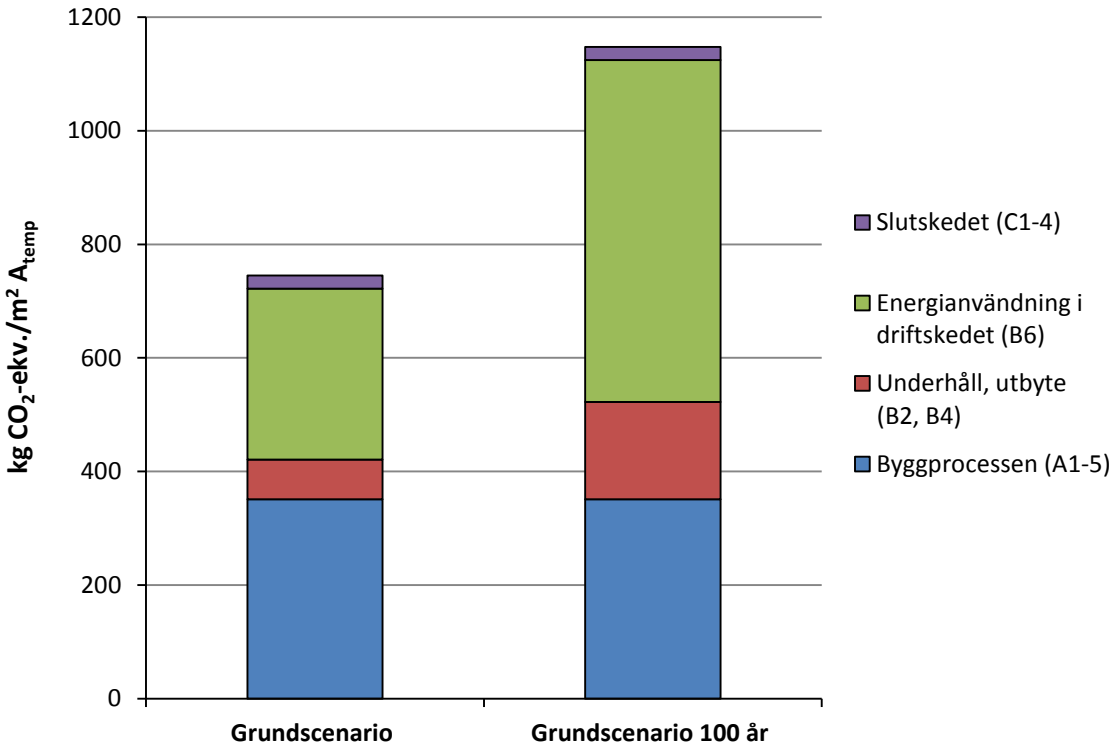
När det gäller byggproduktionen är det elanvändning och produktion och transport av spillmaterial som ger det största bidraget till klimatpåverkan, se Figur 12. All påverkan relaterad till produktion av spillmaterial allokerats till byggproduktionen (modul A5), vilket beskrivits tidigare. Kategorin ”Transporter och produktion spillmaterial” inkluderar således produktion av allt det material som ”blir över”, det vill säga av olika anledningar inte används i konstruktionen (till exempel på grund av skador eller för att mer material har beställts än vad som åtgår för konstruktion) samt transport av detta material från produktion till byggplats och från byggplats till avfallshantering. Diesel till de maskiner som används på byggplatsen står för en fjärdedel av klimatpåverkan från byggproduktionen (modul A5), medan fjärrvärmeanvändningen ger ett relativt litet bidrag till klimatpåverkan. Totalt sett står klimatpåverkan från byggproduktionen (modul A5) för 12 % av klimatpåverkan från hela byggprocessen (modul A).

## 5.2 Uppströms kumulativ energianvändning

Uppströms kumulativ energianvändning för Blå Jungfrun uppgår till i storleksordningen 3,9 GJ/m$^2$ $A_{temp}$ (1080 kWh/m$^2$ $A_{temp}$) eller 42 800 GJ (11 890 MWh) i absoluta tal. Kumulativ energianvändning uppströms har beräknas mer schablonmässigt än klimatpåverkan uppströms (se avsnitt 3.2) och det är därför inte möjligt att redovisa en detaljerad fördelning mellan delmoduler, byggdelar och betydande resurser. En ungefärlig beräkning av den kumulativa energianvändningen i byggproduktionen (modul A5), har dock tagits fram, se Figur 13. Kumulativ energi för *el och fjärrvärme* beräknades utifrån den faktiska mängd el och fjärrvärme som användes vid konstruktionen, samt CED för Stockholms fjärrvärme samt nordisk elmix. Kumulativ energi för *dieselanvändning* beräknas utifrån mängd $CO_2$-ekvivalenter för diesel, samt 88 g $CO_2$-ekv./MJ diesel (här ingår både produktion av bränslet och förbränning i maskin). Kumulativ energi för *transporter och produktion av spillmaterial* beräknas utifrån antagandet att transportdelen står för samma procentuella andel av A5:s kumulativa energi som av A5:s klimatpåverkan, alltså 36 %. Totalt är den kumulativa energianvändningen från byggproduktionen (modul A5) 40 MWh/m$^2$ $A_{temp}$ vilket är 38 % av total kumulativ energianvändning i byggprocessen (modul A1-5).



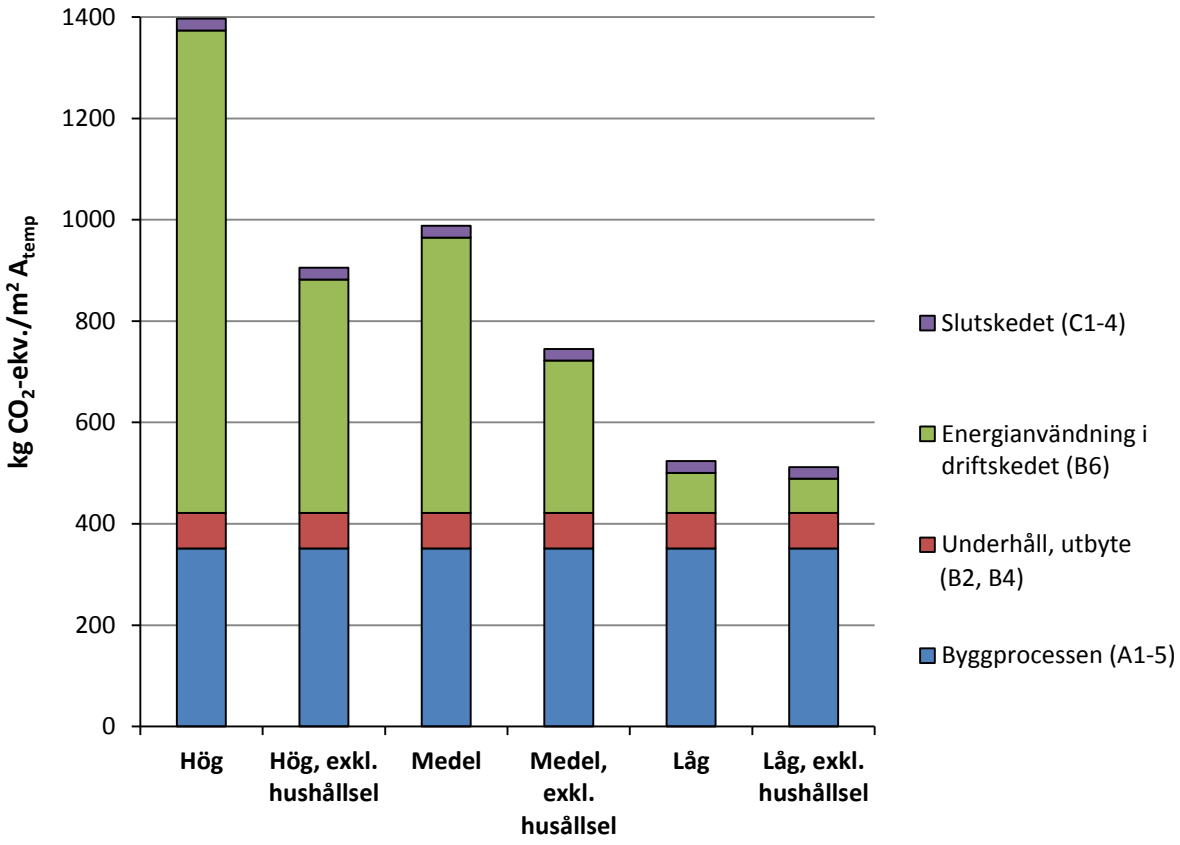

**Figur 13:** Bidrag till kumulativ energianvändning från byggproduktionen (modul A5).



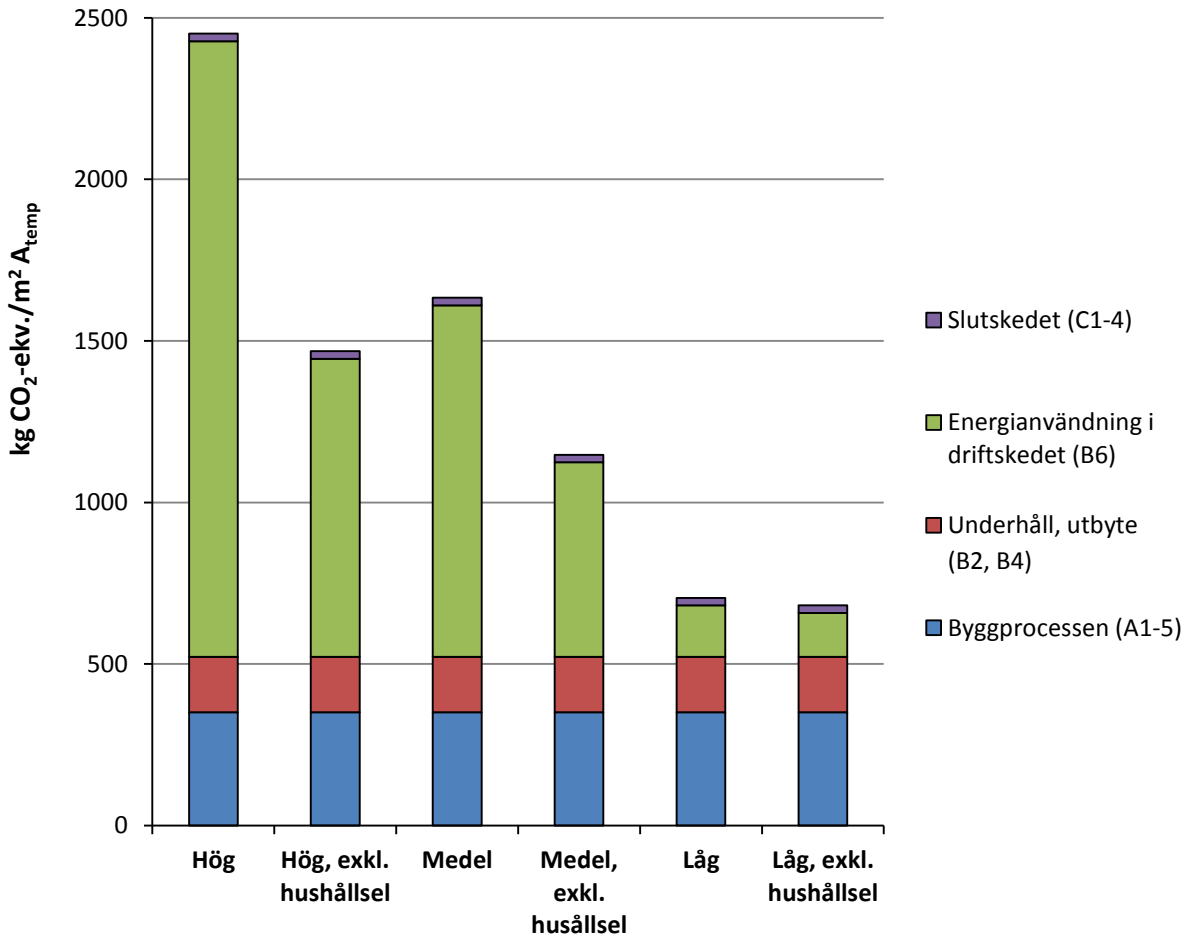

**Figur 14:** Fördelning av klimatpåverkan över hela livscykeln för grundscenariot (50 år) ”medel, exklusive hushållsel”.

## 5.3 Fördelning av klimatpåverkan och energianvändning över livscykeln

Vid ett antagande om energiscenario ”medel, exklusive hushållsel” i driftskedet ger uppströms och nedströms ungefär lika stora bidrag till total klimatpåverkan då analysperioden är 50 år, se Figur 14 ovan. Fördelningen mellan uppströms och nedströms processer beror dock till stor del på val av energiscenario, vilket illustreras i Figur 15 och 16. När analysperioden är 50 år står uppströms processer (det vill säga byggprocessen – modul A1-5) för runt 25-70 % av den totala klimatpåverkan beroende på val av el- och fjärrvärmemix i driftskedet (se avsnitt 3.3.2). Underhåll, utbyte och renovering (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 16. I stället har driftskedet (modul B2, B4, B6) ett högre bidrag, eftersom mer energi används ju längre driftskedet är och fler underhållsåtgärder, utbyten och renoveringar 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.




**Figur 15:** Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln vid en analysperiod på 50 år.

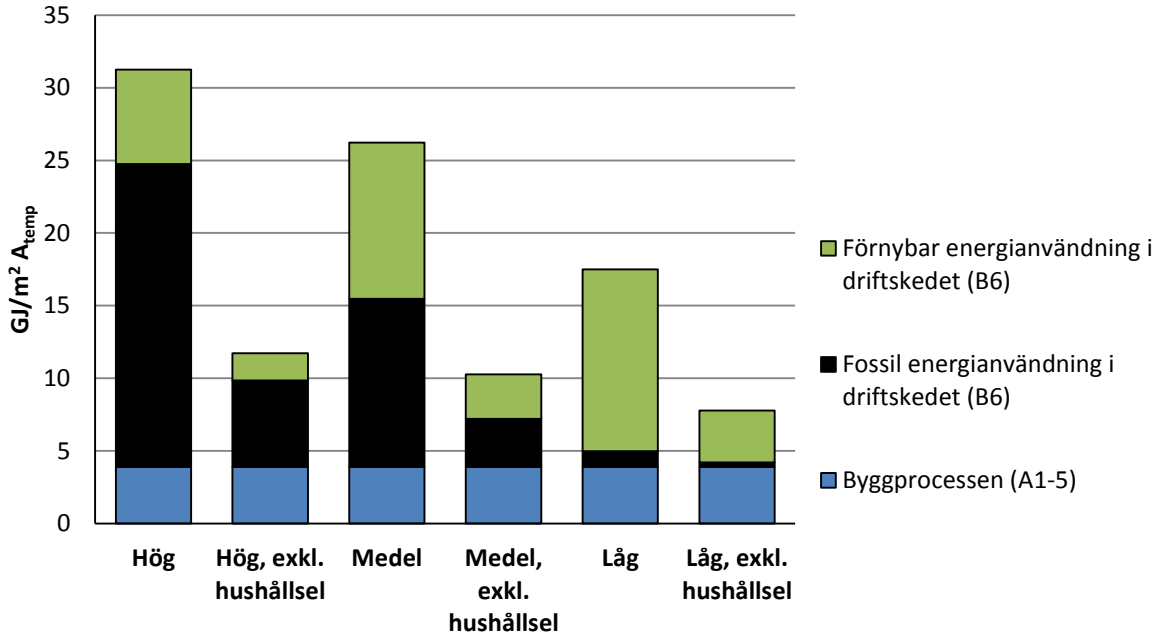



**Figur 16:** Fördelning av klimatpåverkan över livscykeln vid en analysperiod på 100 år.

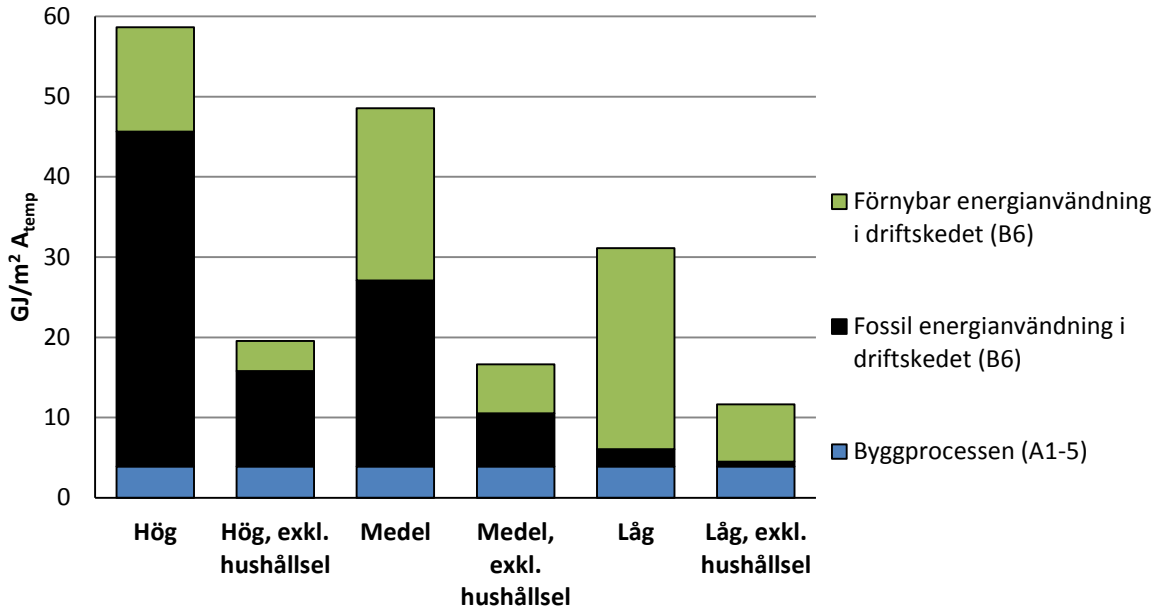
Kumulativ energi har inte beräknats för underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4) eller slutskedet (modul C). Därför jämförs här endast den kumulativa energin i byggprocessen (modul A1-5) med den i driftskedet (B6). Vid en analysperiod om 50 år står byggprocessen (modul A1-5) för cirka 10-50 % av den totala kumulativa energianvändningen beroende på val av el- och fjärrvärmemix i driftskedet, se Figur 17. Elanvändningens storlek är av avgörande betydelse.

Med en analysperiod på 100 år har byggprocessen (modul A1-5) ett lägre bidrag till total kumulativ energianvändning, cirka 5-35 % av den totala kumulativa energin beroende på val av energiscenario i driftskedet, se Figur 18. Det ska återigen noteras att osäkerheterna kring framtida processer är stora när analysperioden är 100 år.

Slutligen redovisas resultatet enligt den resultattabell som ska användas enligt CEN-standarden, se Tabell 10. Notera dock att tabellen såsom den presenteras i EN 15978 inkluderar alla moduler A-D. I Tabell 10 redovisas dock endast de moduler som ingår i beräkningarna.




**Figur 17:** Fördelning av kumulativ energi på uppströms och nedströms processer vid 50 års analysperiod.




**Figur 18:** Fördelning av kumulativ energi på uppströms och nedströms processer vid 100 års analysperiod.

**Tabell 10:** Resultattabell enligt format i EN 15798. Klimatpåverkan och energianvändning vid analysperiod 50 år och energiscenario "Nedströms, medel, exklusive hushållsel".

| **Indikator** | **Enhet** | **Modul A1-5** | | **B2, B4** | **B6** | **C1-4** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Produktion (A1-3) | Konstruktion (A4-5) | | | |
| **GWP** | kg $CO_2$-ekv./$m^2$ $A_{temp}$ | 296 | 55 | 61 | 301 | 23 |
| **$E_{total}$** [9] | GJ/$m^2$ $A_{temp}$ | 4 | | - | 21 | - |
| | kWh/ $m^2$ $A_{temp}$ | 1 080 | | - | 5 830 | - |

[9] $E_{total}$ motsvarar total förnybar och icke-förnybar energi.

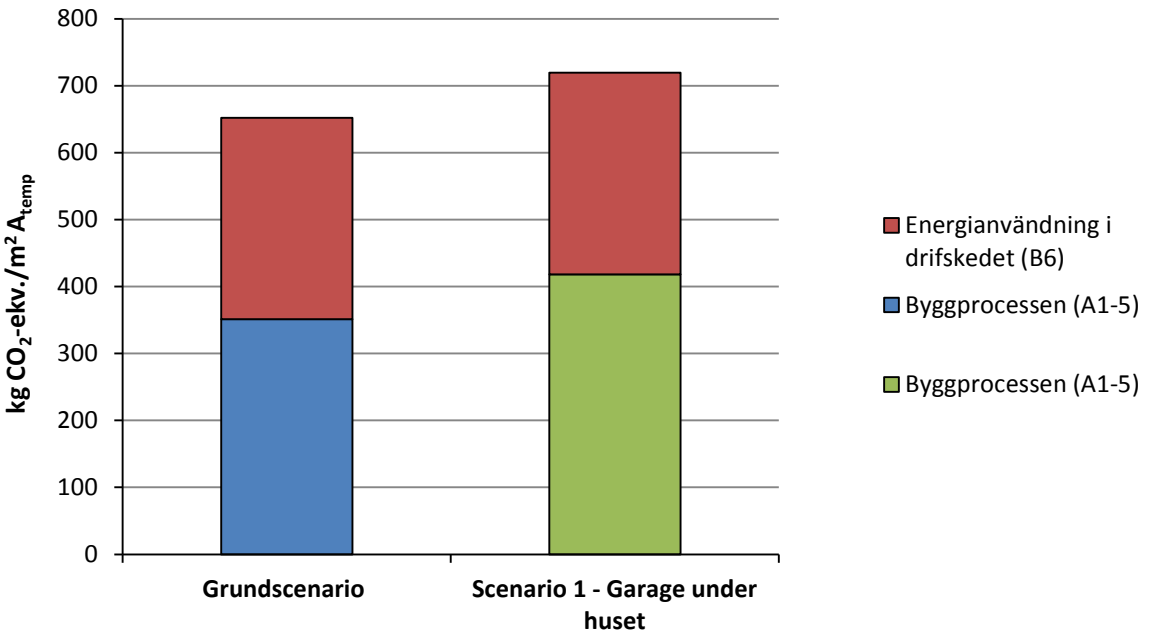
# 6 Alternativa utföranden

För att analysera hur fördelningen av total klimatpåverkan mellan olika moduler förändras vid antaganden om andra konstruktionslösningar bestämdes fyra olika alternativ som komplement till Blå Jungfruns aktuella utformning. I avsnitt 6.1 beskrivs ett alternativ där ett hus som i övrigt liknar Blå Jungfrun konstrueras med ett garage under huset. I avsnitt 6.2 och 6.3 beskrivs två alternativ som jämför Blå Jungfruns passivhusstandard med BBR-nivån vad gäller energiprestanda; först för betonghus och sedan för hus med lätta utfackningsväggar i trä. Sist, i avsnitt 6.4, beskrivs ett alternativ där ett betonghus konstruerat enligt kraven i BBR efter 50 år renoveras till passivhus, som då kan antas vara rådande norm. Scenarierna jämförs med ”grundscenariot” för Blå Jungfrun, se Figur 14. Endast byggprocessen (modul A) och energianvändning i driftskedet (modul B6) inkluderas, förutom för det sista renoveringsalternativet då också utbyte, underhåll och renovering ingår (modul B2 och B4-5).

## 6.1 Garage

All parkering vid Blå Jungfrun är utvändig. Det finns parkeringsplatser längs med gatan och på parkeringsplatser i ena änden av området. Att bygga garage under husen har emellertid alltmer utvecklats till praxis idag i Stockholmsområdet på grund av höga markvärden. Det är därför intressant att uppskatta hur stor klimatpåverkan hade blivit om garage hade byggts under Blå Jungfrun. Resultatet presenteras i Figur 19.

Vid konstruktion av garage tillkommer ca 70 kg $CO_2$-ekv./m² $A_{temp}$, vilket innebär att garaget står för 16 % av total klimatpåverkan från byggprocessen (modul A1-5). Det är isoleringen som står för största delen av klimatpåverkan, följt av betong och armering. Det stora bidraget från isolering beror på att det isolermaterial som använts för garageberäkningarna (EPS) har en hög specifik klimatpåverkan. Markarbetet står endast för ett par procent av den totala klimatpåverkan från byggandet av garaget.



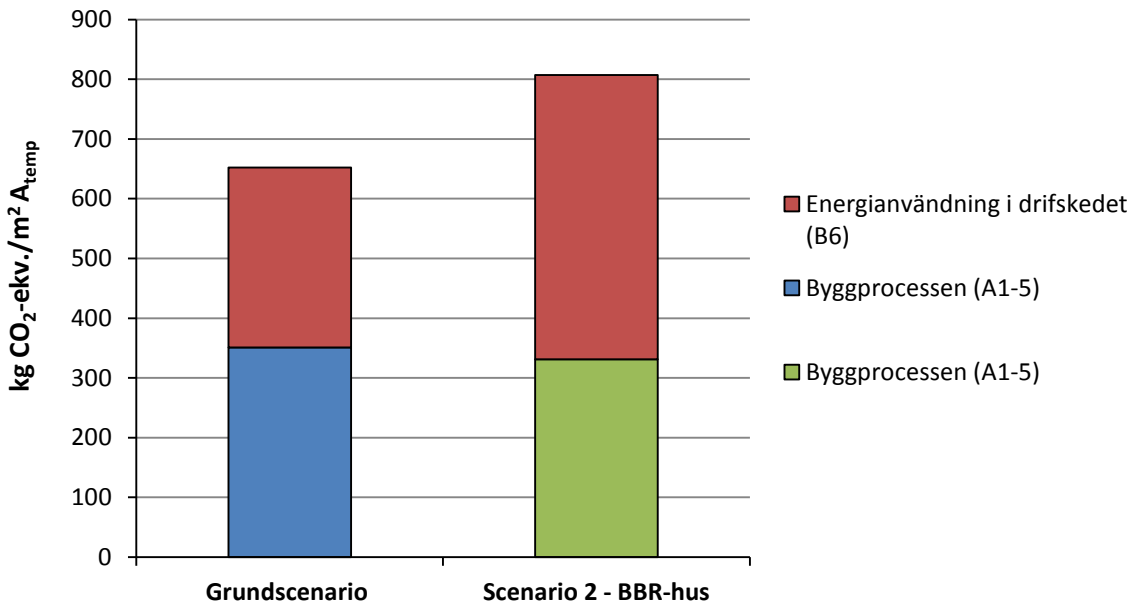

**Figur 19:** Fördelning av total klimatpåverkan mellan byggprocessen (modulerna A1-5) och energianvändning i driftskedet (modul B6) – jämförelse mellan grundscenariot och ett scenario där garage konstrueras under huset. Analysperioden är 50 år.

En uppskattning av materialtyper som tillkommer vid konstruktion av garage under Blå Jungfrun gjordes av Svenska Bostäder. Detta inkluderar EPS-isolering i ytterväggarna (100 mm), armering, asfalt och platta, yttervägg, balkar och ramper i betong. Det är dessa material som antas ge störst bidrag till klimatpåverkan och därför har inte ventilationsrör, belysning, portar och hissar inkluderats i beräkningarna. Arbete som krävs för att flytta jorden som grävs bort inkluderas, men inget annat konstruktionsarbete. Mängd material och markarbete har beräknats baserat på parkeringsnormen 0,7, vilket är den parkeringsnorm som gällde för Blå Jungfrun. Detta innebär för Blå Jungfrun 68 garageplatser fördelat på 4 hus och en total garageyta på 1 948 $m^2$. LCA-data har hämtats från databasen ICE, förutom för diesel då detta är hämtat från en litteratursammanställning gjord av Eriksson och Ahlgren (2013).

## 6.2 BBR-hus

En fråga som är intressant att studera är om hus med lågt energibehov av samma typ som Blå Jungfrun kan ha en totalt sett högre klimatpåverkan än hus konstruerade enligt minimikraven i Boverkets byggregler (BBR), på grund av ökade materialresurser. I detta scenario jämförs Blå Jungfruns grundscenario med ett motsvarande hus konstruerat enligt BBR-kraven. Notera att BBR anger en lägsta nivå på de krav en byggnad ska uppfylla. När det gäller energianvändning är kravet ett tak, varför det är vanligt att dimensionera med 10 % marginal för att klara energikraven. ”BBR-huset” har ljudklass C och uppfyller det energikrav som ställs på hus i Stockholm uppvärmda med fjärrvärme: 90 kWh/$m^2$ $A_{temp}$ och år (exklusive hushållsel).”BBR-huset” har en något lägre (ca 20 kg $CO_2$-ekv./$m^2$ $A_{temp}$) klimatpåverkan från byggprocessen (modul A1-5) än Blå Jungfrun, se Figur 20. Minskningen beror framförallt på mindre mängd betong i innerväggarna till följd av lägre ljudkrav. Den minskade mängden isolering har marginell betydelse. Däremot ökar klimatpåverkan i byggnadens driftskede (modul B6) med nästan 150 kg $CO_2$-ekv./$m^2$ $A_{temp}$, och den totala klimatpåverkan för BBR-huset är därmed högre än för Blå Jungfrun.

Vid beräkningen av detta scenario har det antagits att betongtjockleken i innerväggar och bjälklag minskar med 50 mm för att gå från dagens ljudklass B i Blå Jungfrun till ljudklass C (BBR). Den totala mängden betong som skiljer sig mellan grundscenariot och BBR-huset har beräknats utifrån mätningar på husets A-ritningar samt data från Skanska. LCA-data för betong har hämtats från databasen ICE. Det har vidare antagits att isoleringstjockleken i ytterväggar är 150 mm i BBR-huset, vilket är 40 % mindre än i grundscenariot. Detta leder till att klimatpåverkan relaterad till husets isolering också reduceras med 40 %. När det gäller driftskedet (modul B6) har det för BBR-huset antagits att användningen av fjärrvärme ökar jämfört med grundscenariot, medan elanvändningen är densamma, se Tabell 11.



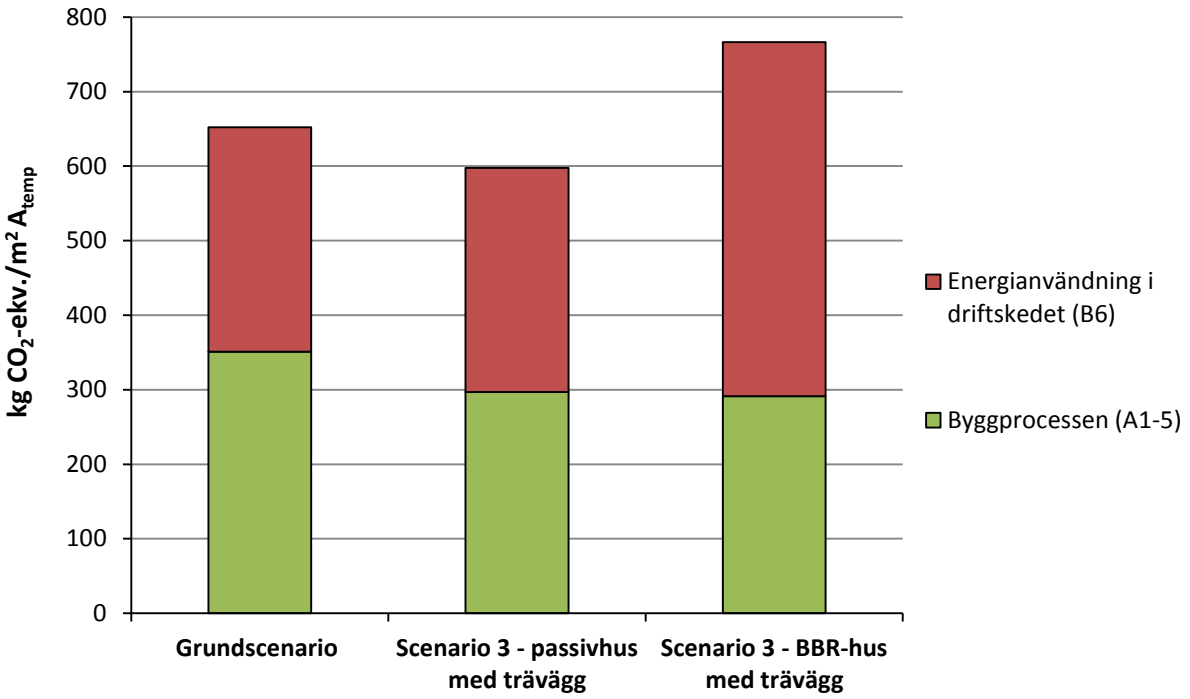

**Figur 20:** Fördelning av total klimatpåverkan mellan modulerna A1-5 och B6 – jämförelse mellan grundscenariot och ett hus konstruerat för att uppfylla kraven i BBR. Analysperioden är 50 år.

**Tabell 11:** Jämförelse av fördelningen av energianvändning i grundscenariot och scenariot med BBR-hus.

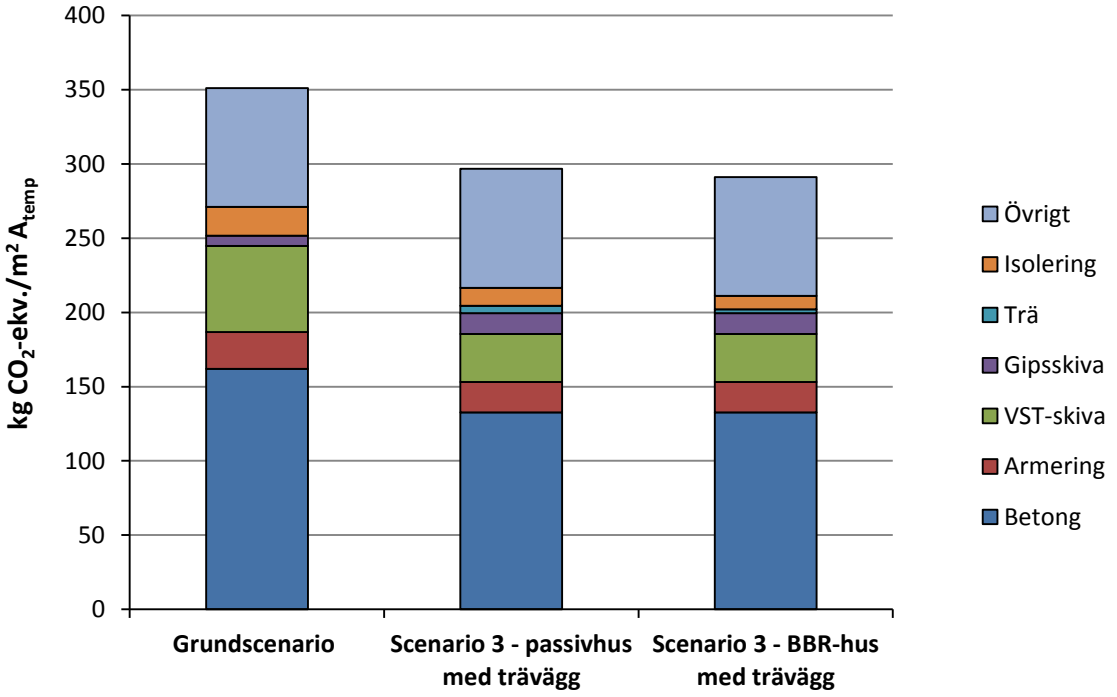
| Energislag | Grundscenario (kWh/m2 $A_{temp}$ och år) | BBR-hus (kWh/m2 $A_{temp}$ och år) |
|---|---|---|
| **Fastighetsel** | 8 | 8 |
| **Hushållsel** | 30 | 30 |
| **Fjärrvärme, varmvatten** | 25 | 25 |
| **Fjärrvärme, värme** | 17 | 53 |
| **Elvärme** | 4 | 4 |
| **Totalt (exklusive hushållsel)** | 54 | 90 |

## 6.3 Utfackningsväggar i trä

Det är inga stora skillnader i uppströms klimatpåverkan mellan Blå Jungfrun och ett motsvarande BBR-hus i betong (se Figur 20). I det här scenariot jämförs i stället två byggnader med lätta utfackningsväggar i trä: ett passivhus och ett som uppfyller energi- och ljudkraven i BBR. För husen konstruerade med lätta utfackningsväggar av trä minskar klimatpåverkan med ca 60 kg $CO_2$-ekv./m² $A_{temp}$ jämfört med grund-scenariot, se Figur 21. Minskningen beror på minskade betongmängder men den är inte så stor då utfackningsväggarna av trä inte kan ersätta så stor andel av betongen. Detta innebär att passivhuset med träväggar har en totalt sett lägre klimatpåverkan än Blå Jungfrun, medan BBR-huset även här har den högsta klimatpåverkan på grund av högre energianvändning i driftskedet (modul B6). Skillnaden mellan passivhuset med träväggar och BBR-huset är mycket liten i byggprocessen (modul A1-5) eftersom det inte är någon skillnad i betongmängder mellan de två. Detta illustreras i Figur 22.




**Figur 21:** Fördelning av total klimatpåverkan mellan byggprocessen (modulA1-5) och energianvändning i driftskedet (modul B6) – jämförelse mellan grundscenariot och passivhus och BBR-hus med lätta utfackningsväggar av trä. Energianvändningen i driftskedet är exklusive hushållsel. Analysperioden är 50 år.




**Figur 22:** Fördelning av total klimatpåverkan i byggprocessen (modul A1-5) med olika byggmaterial – jämförelse mellan grundscenariot och passivhus och BBR-hus med lätta utfackningsväggar av trä. Beräkningarna bygger på att båda alternativen klarar livslängden på 50 år och har samma energiprestanda (U-värde).

Vid beräkning av klimatpåverkan för de två husen med träväggar har Blå Jungfrun använts som modell. Det har antagits att långsidornas ytterväggar ersätts med lätta utfackningsväggar i trä, men att resten av huset är konstruerat på samma sätt som i grundscenariot. Klimatpåverkan från materialet i långsidans ytterväggar har dragits ifrån den totala klimatpåverkan i byggprocessen (modul A1-5) och sedan har träväggarna adderats till detta. Materialmängder i långsidorna på Blå Jungfrun har beräknats utifrån mätningar på A-ritningar samt information från Skanska. Uppbyggnad av utfackningsväggarna och energianvändningen i byggnadens driftskede (modul B6) presenteras för de båda scenarierna i Tabell 12. LCA-data har hämtats från databasen ICE. Precis som i övriga scenarior har endast materialproduktion inkluderats.

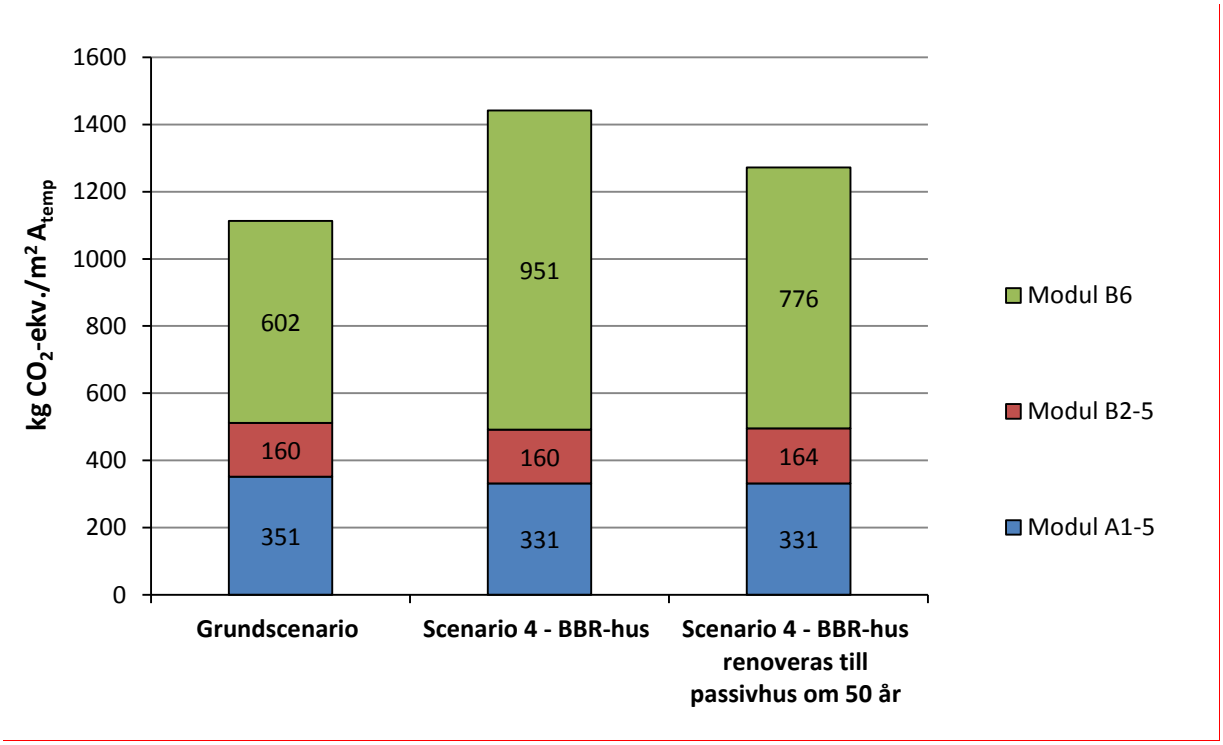
**Tabell 12:** Uppbyggnad av lätta utfackningsväggar i trä, samt energianvändning i driftskedet för passivhus och BBR-hus med lätta utfackningsväggar i trä.

| **Uppbyggnad vägg** | **Passivhus** | **BBR-hus** |
|---|---|---|
| Puts | 20 mm | 20 mm |
| Gipsskiva | 2 stycken à 13 mm | 2 stycken à 13 mm |
| Träreglar | Dimensioner 2 x 45 x 145 mm. 600 mm mellan varje regel | Dimensioner 45 x 145 mm. 600 mm mellan varje regel |
| Hammarband och syll | Dimensioner 2 x45 x 145 mm, löper längs med varje våningsplan | Dimensioner 2 x 45 x 145 mm, löper längs med varje våningsplan |
| Mineralull (λ = 0,035) | 290 mm | 145 mm |
| **Energianvändning** | | |
| Totalt (exkl. hushållsel) | 54 kWh/m$^2$ $A_{temp}$ och år | 90 kWh/m$^2$ $A_{temp}$ och år |

## 6.4 BBR-hus renoveras till passivhus

I avsnitt 6.2 visades att det inte är några stora skillnader i uppströms klimatpåverkan mellan Blå Jungfrun och ett motsvarande hus konstruerat för att uppfylla kraven i BBR. Det kan dock antas att det finns skillnader i underhåll och renovering av dessa hus. Till exempel kan det antas att normkrav i framtiden ungefär motsvarar dagens passivhusnivå, varför ett konventionellt hus som genomgår en omfattande renovering om 50 år då behöver energieffektiviseras till passivhusstandard. I detta scenario studeras därför vad som händer om ett flerfamiljshus i betong, byggt idag för att uppfylla energikraven i BBR (se avsnitt 6.2), renoveras till passivhusstandard om 50 år och då får utfackningsväggar av trä (se avsnitt 6.3), vilket bedöms vara ett rimligt alternativ för energirenovering. Detta scenario jämförs med ett scenario för ett BBR-hus där ingen energirenovering genomförs, utan byggdelar underhålls och byts ut efter behov. För det hus som renoveras till passivhusstandard efter 50 år ansätts en energianvändning i driftskedet (modul B6) som under analysperioden (100 år) är medelvärdet av energianvändningen för passivhus och för BBR-hus.

Figur 23 visar att även om inbyggd klimatpåverkan (byggprocessen samt underhåll, utbyte och renovering) är något högre om huset byggs som passivhus från början eller energirenoveras efter 50 år, blir den totala klimatpåverkan lägre för dessa scenarier än för BBR-huset som inte genomgår renovering och därmed bibehåller en högre energianvändning i driftskedet (B6) under hela analysperioden (100 år). Resultaten visar också att grundscenariot, dvs. passivhusstandard från början, har lägst total klimatpåverkan även om den inbyggda klimatpåverkan är något högre än för BBR-huset.




**Figur 23:** Fördelning av total klimatpåverkan på byggprocess (modul A1-5), underhåll, reparation, utbyte, renovering (modul B2-5) och energianvändning i driftskedet (modul B6) – jämförelse mellan grundscenariot, BBR-hus och renovering av BBR-hus till passivhus efter 50 år. Energianvändningen i driftskedet är exklusive hushållsel. Analysperiod 100 år.

# 7 Diskussion

Detta kapitel innehåller diskussion kring resultatet från studien och rekommendationer inför vidare arbete. Kapitlet börjar med en diskussion kring resultatet från grundscenariot som presenterades i kapitel 5. I avsnitt 7.1 diskuteras under vilka förhållanden som detta resultat giltigt och vilka metodval som har påverkat resultatet. I avsnitt 7.2 jämförs resultatet med tidigare studier. Därefter, i avsnitt 7.3, diskuteras resultatet från de scenarier som presenterades i kapitel 6.

## 7.1 Resultatdiskussion

Resultatet från studien visar att byggprocessens (modul A1-5) procentuella bidrag till klimatpåverkan till stor del beror av antagande om el- och fjärrvärmemix i driftskedet. För grundscenariot[10] och en analysperiod på 50 år (Figur 14) så står uppströms klimatpåverkan för ca 50 % av den totala klimatpåverkan. I det fall då el- och fjärrvärmemixen antas innehålla en låg andel fossila bränslen står dock byggprocessen (modul A1-5) för en *större* andel av klimatpåverkan än energianvändningen i driftskedet, vilket även gäller vid en analysperiod på 100 år (Figur 15 och Figur 16). Inbyggd klimatpåverkan (det vill säga allt det som inte är kopplat till driftens energianvändning) utgör i grundscenariot ca 60 % av totala klimatpåverkan. För kumulativ energianvändning blir resultatet annorlunda; driftskedet ger störst bidrag oberoende av den el- och fjärrvärmemix som används (Figur 17 och Figur 18). Likväl står uppströms processer i grundscenariot för 40 % av total kumulativ energianvändning.

Resultatet visar också materialproduktionens betydelse för byggnadens klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv. Transporter samt uppförande av byggnaden har ett relativt lågt bidrag till uppströms klimatpåverkan (Figur 9). Klimatpåverkan beräknades även grovt för underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4-5) och slutskedet (modul C). Dessa aktiviteter har vid antagande om låg andel fossila bränslen i driftskedet ett ungefär lika stort bidrag till total klimatpåverkan som driftskedet har, medan de i övriga energiscenarier har en lägre betydelse för resultatet. Det ska dock noteras att osäkerheten är hög kring framtida processer i dessa scenarier, speciellt för långa analysperioder som 100 år.

Flera förenklingar och antaganden har gjorts i studien och det är därför relevant att diskutera under vilka förhållanden som resultaten är giltiga. I denna studie har det till exempel antagits att samma el- och fjärrvärmemix används under hela analysperioden, men det är sannolikt att el- och värmeproduktionen blir mindre klimatpåverkande i framtiden. Dessutom är det sannolikt att energianvändningen för uppvärmning kommer att minska till följd av ett varmare klimat. Detta påverkar klimatpåverkan och kumulativ energi i drift- och slutskedet (modul B och C), eftersom uppströms speglar dagens situation. Det är därmed tänkbart att den initiala byggprocessen (modul A1-5) har en relativt sett större betydelse under byggnadens livscykel än vad som återspeglas i resultatet från den här studien.

Ett antal processer har exkluderats från beräkningarna vilket kan ha en viss inverkan på resultaten. När det gäller byggproduktionen (modul A5) ingår inte markarbeten. Vi har valt att exkludera dem då detta är brukligt och ökar jämförbar-

[10] I driftskedet används nordisk elmix och svensk fjärrvärme medel. Hushållsel exkluderas. Analysperioden är 50 år.

heten mellan olika byggsystem. Underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4-5) inkluderar endast materialproduktion vilket innebär att flera aktiviteter har uteslutits ur beräkningarna. Vidare är också slutskedet (modul C) ett förenklat scenario för rivning av en byggnad. Dessa moduler, det vill säga den inbyggda klimatpåverkan, skulle därför kunna utgöra en något större andel av den totala klimatpåverkan.

Även val av LCA-data kan inverka på resultatet. I litteratur och databaser uppvisas variation mellan LCA-data för energi- och materialproduktion. Inom detta projekt beräknades nya LCA-data för driftskedets olika energiscenarier som representerar dagens situation. Energidata ligger något högre än generellt använda data inom bokförings-LCA och därmed också data från tidigare studier. Klimatpåverkan och kumulativ energi relaterad till driftskedet är alltså högre än om äldre data använts.

När det gäller materialproduktionen är det särskilt relevant att jämföra LCA-data för de mest betydande resurserna: betong, armering, cellplast (EPS) och VST-skivan, se Figur 11. De LCA-data som Skanska använde för beräkning av klimatpåverkan är av IVL bedömda som relevanta för den svenska byggsektorn och dessutom har produktionsspecifik data använts för den största materialgruppen – betong. Med specifika data menas här att inventeringen omfattar data för den faktiska cementfabrik som levererat cement till betongen, medelvärde av Skanskas betongstationer och data för de recept som Skanska använder. Däremot har generisk data använts för CED, samt för beräkning av installationerna dvs; el, VVS, ventilation och underhåll, samt utbyte och renovering (modul B2, B4-5) och slutskedet (modul C).

Tabell 13 visar hur LCA-data kan variera för betong, armering, EPS och VST-skiva (cementfiberskiva) mellan olika databaser. Som exempel visas här data från den schweiziska databasen KBOB och den brittiska databasen ICE. Skillnaderna kan bero på sådant som geografisk variation i tillverkningsteknik, tidpunkt för datainsamling och inkluderade aktiviteter.

**Tabell 13:** Jämförelse av LCA-data i databaserna KBOB och ICE för de mest betydande resurserna (se Figur 11).

| | **Klimatpåverkan (kg $CO_2$-ekv./kg)** | | **Primärenergi (MJ/kg)** | |
|---|---|---|---|---|
| | KBOB | ICE | KBOB | ICE |
| Betong* | 0,07–0,11 | 0,10–0,13 | 0,52–0,61 | 0,70–1,0 |
| Armering* | 0,71 | 0,72–1,7 | 14 | 13-25 |
| EPS | 4,2 | 3,3 | 106 | 89 |
| VST-skiva (cementfiberskiva) | 1,1 | 1,1 | 14 | 10 |

* Det framgår inte vilken betongkvalitet som avses varför olika kvalitéer ingår i spannet. Samma sak gäller stålet då andelen primära råvaror kan varier samt kvalitéerna.

Hong m.fl. (2013) analyserade hur val av LCA-data för CED påverkade resultatet från en LCA av ett passivhus i Kina. I deras studie varierade den kumulativa energianvändningen för materialproduktion (motsvarande modul A1-3 i detta projekt) mellan 2,5 och 9,8 GJ/m² (690 och 2 720 kWh/m²) beroende på val av LCA-data för CED. Detta resulterade i att materialproduktionen stod för mellan 19 och 48 %

av den kumulativa energianvändningen över en analysperiod på 50 år. Författarna plockade LCA-data från litteratur publicerad i olika länder från 90-talet och framåt. Exemplet visar därmed på vikten av att välja LCA-data från en relevant, geografiskt representativ källa. Dessutom beräknas CED på olika sätt vilket gör att osäkerheterna ökar för just denna typ av indikator.

Att utföra beräkningarna med Anavitor utgående från Skanskas projektkalkyl har fördelen att beräkningarna får med ”allt” på ett sätt som man inte får annars om man ska utgå från exempelvis CAD-ritningar. Nackdelen är emellertid att det leder till minskad transparens om det inte går att få ut mängder av olika material så att känslighetsanalyser kan utföras, exempelvis avseende använda miljödata för olika materialgrupper. För att göra en LCA för en byggnad måste man alltid göra en översättning av det som står på ritningen eller det som kalkylen innehåller vilket kan göras med olika ambitionsnivå. Anavitor bedömer därför den sammanlagda datakvaliteten på korsreferenserna.

Allt som allt bedöms den beräknade uppströms klimatpåverkan för Blå Jungfrun vara representativ för dagens produktion av flerbostadshus i betong med lågenergiprofil. Byggsystemet (VST) är visserligen inte så vanligt förekommande men mängden betong det innehåller motsvarar väl andra vanligare byggsystem av betong. En nyckelstrategi vid byggande av lågenergihus är att skapa täta byggnadsskal och det krävs därför ett byggsystem som kan åstadkomma detta. VST-systemet har visat sig fungera väl i detta avseende och kan alltså ses som ett gott exempel på ett byggsystem med goda förutsättningar att klara högt ställda energikrav och att det går att bygga passivhus med betongteknik. En detalj i sammanhanget är att den EPS-isolering som använts i huset har låg densitet vilket innebär att isoleringens bidrag till klimatpåverkan ligger lägre än i liknande studier. Blå Jungfrun har emellertid inga garage vilket annars är praxis i dagens nyproduktion i Stockholmsområdet. En förenklad tilläggsberäkning visade att med garage skulle byggprocessens klimatpåverkan för fallstudien öka med i storleksordningen 70 kg/m$^2$ $A_{temp}$ eller 17 % (se avsnitt 6.1).

När det gäller uppströms energianvändning har det inte funnits utrymme i projektet att studera olika processers bidrag närmare. Beräkningen har gjorts schablonmässigt men siffran 3,9 GJ/m$^2$$A_{temp}$ ligger i en storleksordning som har påvisats i andra liknande studier. I en sammanställning av tidigare studier av Stephan m.fl. (2013) ligger motsvarande siffra runt 3,1–7,6 GJ/m$^2$. Vid beräkning av CED gjordes ett antagande om att de material som bidrog mest till klimatpåverkan också var de som bidrog mest till den kumulativa energianvändningen. Eftersom de mest betydande resurserna täcker nästan 100 % av den totala materialvikten i byggnaden kan detta antagande ses som tillfredsställande.
I följande avsnitt jämförs resultatet från fallstudien ytterligare med tidigare studier.

## 7.2 Jämförelse med liknande fallstudier

Det har tidigare gjorts flera andra studier som analyserar miljöpåverkan av byggnader, både konventionella och lågenergihus, ur ett livscykelperspektiv. Eftersom alla byggnader är unika varierar resultatet (till exempel klimatpåverkan/m$^2$, mest betydande resurser och fördelning uppströms/nedströms) mellan dessa. Eftersom metodval såsom systemgränser, inkluderade aktiviteter, beräknad livslängd och referensarea varierar är det också svårt att jämföra olika studier med varandra. Likväl är det intressant att få en indikation om hur resultaten från Blå Jungfrun ligger till i relation till andra studier. I texten

nedan diskuteras i första hand resultat för kumulativ energianvändning eftersom det är dessa resultat som är mest osäkra för Blå Jungfrun och också den påverkanskategori som vanligen redovisas i tidigare studier.

Som beskrevs i introduktionen till denna rapport har det länge funnits en föreställning om att driftskedet står för 85 % av en byggnads klimatpåverkan och energianvändning ur ett livscykelperspektiv. Detta antagande har sitt ursprung bland annat i Karin Adalberths studier vid millennieskiftet (se t.ex. Adalberth m.fl., 2001). Nedan följer därför en jämförelse av resultat från studien av Blå Jungfrun med den som utfördes av Adalberth m.fl. (2001), först avseende resultatet av studierna och sedan avseende den metodik som har använts. Detta följs av en mer översiktlig jämförelse med andra studier, både svenska och internationella.

Adalberth m.fl. (2001) utförde livscykelanalyser av fyra flerfamiljshus (med 6-16 lägenheter) belägna i Malmö, Stockholm, Växjö och Helsingborg. Husen i Helsingborg och Malmö är olika typer av betongkonstruktioner (lättbetong i Malmö), medan Stockholmshuset är i betong och stål och huset i Växjö har trästomme. Energianvändningen i driftskedet ligger mellan 100 och 150 kWh/m$^2$ och år (inklusive hushållsel), vilket är högre än den för Blå Jungfrun. Betonghuset i Malmö har lägst energianvändning, medan trähuset har den högsta. Alla husen har mekanisk frånluftsventilation.

Det är trähuset som har lägst klimatpåverkan uppströms, däremot är den totala klimatpåverkan och kumulativa energianvändningen högst för detta hus, på grund av högre energianvändning i driftskedet. Betonghuset i Malmö har lägst total klimatpåverkan och kumulativ energianvändning. För kumulativ energianvändning ligger resultatet för Blå Jungfrun på ungefär samma procentfördelning som i studien av Adalberth m.fl. (2001) – ca 10-20 % vid en analysperiod om 50 år för uppströms beroende på energiscenario, inklusive hushållsel. För klimatpåverkan ligger Blå Jungfrun på en högre andel uppströms, som lägst 25 %.

Tabell 14. ger en överblick av uppströms och nedströms (här endast modul B6) klimatpåverkan och kumulativ energianvändning i de två studierna. Generellt sett har Blå Jungfrun en högre klimatpåverkan uppströms och en lägre klimatpåverkan nedströms än husen i den andra studien, medan den kumulativa energin för Blå Jungfrun ligger inom det intervall som presenteras av Adalberth m.fl. (2001). Renovering och rivning står endast för en mindre del av klimatpåverkan i studien av Adalberth m.fl. (2001).

När det gäller metodval är det inte några stora skillnader mellan den metodik som används av Adalberth m.fl. (2001) och den som används i den här studien. Huvudsakliga skillnader är hur energianvändningen nedströms och materialmängder har beräknats. Adalberth m.fl. (2001) grundar energianvändningen nedströms på beräkningar utförda med programmet Enorm, medan uppmätta värden används för Blå Jungfrun. De använder också en annan elektricitetsmix i driftskedet, elmix från OECD-länderna i Europa (56 % fossilt och 40 % kärnkraft). I övrigt används svensk medelfjärrvärme i driftskedet. Något ”grövre” värden har också använts för uppströms materialanvändning än för Blå Jungfrun då ritningar utgör underlagsmaterialet.

**Tabell 14:** Jämförelse mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan och kumulativ energi mellan fallstudien av Adalberth m.fl. (2001) och Blå Jungfrun i denna rapport.

| Modul | Adalberth m.fl. (2001) | | Blå Jungfrun | |
|---|---|---|---|---|
| | kg $CO_2$-ekv./$m^2$ | GJ/$m^2$ | kg $CO_2$-ekv./$m^2$ | GJ/$m^2$ |
| **A1-5** | 200–280 | 3–5 | 350 | 4 |
| **B6** | 980–1 370 | 20–30 | 80–950 | 14–27 |

Adalberth m.fl. (2001) gjorde känslighetsanalyser där verklig istället för beräknad energianvändning samt svensk elmix ansattes i driftskedet. Detta leder inte till några större skillnader i resultatet, förutom i fallet med svensk elektricitetsmix då klimatpåverkan minskar betydligt.

Thormark (2002) utförde en LCA av ett svenskt passivhus. Författaren drar slutsatsen att den inbyggda energin står för en stor andel, 40 %, av den totala energin under en analysperiod på 50 år. Begreppet inbyggd inkluderar samma aktiviteter som i denna studie – från materialproduktion till rivning. Underhåll och rivning bidrar dock endast till en liten del av totalenergin och då dessa utesluts påverkas inte den procentuella fördelningen mellan uppströms och nedströms nämnvärt. Orsaker till att uppströmsandelen ligger högre än för Blå Jungfrun och husen i Adalberth m.fl. (2001) kan vara att huset är utrustat med solcellsmoduler och användningen av köpt el är endast 28 kWh/$m^2$, vilket gör att nedströms har en relativt sett lägre påverkan.

Brown m.fl. (2014) gjorde en sammanställning av fallstudier genomförda för lågenergihus under åren 2009 till 2012. Av de åtta studier som inkluderar energianvändning i driftskedet visar sex på en dominans för driftskedets energianvändning på mer än 90 %. I denna sammanställning ingår flera svenska fallstudier från Dodoo m.fl. (2010; 2011). När det gäller klimatpåverkan bidrar inbyggd energi generellt sett till en högre andel av den totala påverkan, runt 40-50 % för de flesta studier som refereras av Brown m.fl. (2014). Detta stämmer väl överens med studien av Blå Jungfrun.

Sartori och Hestnes (2007) sammanställde resultat från 60 livscykelanalyser av byggnader, både konventionella hus och lågenergihus. Total årlig kumulativ energi för lågenergihusen varierar mellan 20 och 220 kWh/$m^2$ (0,07–0,79 GJ/$m^2$) medan konventionella byggnader har en energianvändning på 100-580 kWh/$m^2$ (0,36–2,09 GJ/$m^2$) och år. I detta projekt varierar den totala kumulativa energianvändningen mellan 0,35 och 0,63 GJ/$m^2$ $A_{temp}$ och år (97 och 175 kWh/$m^2$ $A_{temp}$ och år), beroende på val av el- och fjärrvärmemix, vilket ligger inom det intervall som redovisas av Sartori och Hestnes (2007).

Av sin sammanställning drar Sartori och Hestnes (2007) slutsatsen att det största bidraget till energianvändningen kommer från driftskedet, både för konventionella byggnader och passivhus. Också andra författare drar samma slutsats. Ramesh m.fl. (2010) redovisar att den inbyggda energin står för 10-20 % av den totala kumulativa energin och Karimpour m.fl. (2014) menar att den inbyggda energin står för ca 25 % av energianvändningen i milda klimat, men att kommer vara lägre i kalla klimat.

Dahlstrøm m.fl. (2012) gjorde en LCA för ett enfamiljshus byggt antingen som konventionellt hus eller passivhus. Resultatet visar att driftenergin ger störst bidrag till både

klimatpåverkan och kumulativ energi-användning. Konstruktion av byggnaden står för ca 30 % av total klimatpåverkan och ca 10-20 % av den kumulativa energi-användningen, beroende på typ av värmeförsörjningssystem. Den här studien gjordes för ett trähus med en beräknad livslängd på 50 år. Generisk data från Ecoinvent 2.0 användes och elmix Nordel ansattes för driftskedet.

Det finns också flera andra studier som inkluderar renovering och underhåll (motsvarande modul B2-5), samt slutskedet (motsvarande modul C), se till exempel Blengini och Di Carlo (2010), Dahlstrøm m.fl. (2012), Rasmussen m.fl. (2013) och Adalberth m.fl. (2001). Även dessa studier har gjorts för olika typer av byggnader, med olika analysperioder och med olika scenarier för hur underhåll, renovering och rivning går till, men de har gemensamt att dessa aktiviteter står för runt 5-10 % av totala klimatpåverkan. Detta motsvarar också resultatet från Blå Jungfrun vid scenarier då andelen fossila bränslen är hög i driftskedet, se Figur 15 och 16.

Generellt sett stämmer alltså resultatet från studien av Blå Jungfrun väl överens med resultat från tidigare publicerade studier. Dessa studier har utförts för olika typer av hus, i flera olika länder och med olika metodval. De studier som inkluderar både kumulativ energianvändning och klimatpåverkan visar att uppströms har ett större bidrag till den totala klimatpåverkan än till den totala kumulativa energianvändningen. Den studie som sticker ut är den som gjordes av Thormark (2002) där huset har en mycket låg energianvändning i driftskedet vilket sannolikt bidrar till den höga andelen från uppströms aktiviteter. Det framkommer dock att klimatpåverkan uppströms i Blå Jungfrun både är högre och står för en större andel över livscykeln jämfört med Adalberth m.fl. (2001). Det har att göra med den större klimatpåverkan nedströms i studie av Adalberth m.fl. (2001) men kan också handla om val av LCA-data för att beräkna klimatpåverkan från material-produktion och högre materialintensitet i Blå Jungfrun.

## 7.3 Diskussion kring scenarier

Fyra olika scenarier analyserades i kapitel 6 för att se hur andra konstruktionslösningar påverkar fördelningen mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan. Garage inkluderades i analysen eftersom det kan sägas vara praxis i dag att bygga garage under huset i Stockholms stad där Blå Jungfrun ligger. I övrigt analyserades BBR-hus i betong, samt passiv- och BBR-hus med utfackningsväggar i trä för att se om nära-nollenergihus av samma typ som Blå Jungfrun kan ha högre klimatpåverkan än BBR-hus på grund av ökade material-resurser.

Analysen av tillägg av garage visar på en tydlig ökning av uppströms klimatpåverkan, se Figur 19. Klimatpåverkan från garaget beror självklart på parkeringsnormen. Med en parkeringsnorm på 1,0, vilket tidigare varit standard i Stockholm, istället för 0,7 som gällde för Blå Jungfrun, så skulle garaget stå för ungefär 20 % av total uppströms klimatpåverkan.

I analysen av BBR-hus och hus med utfackningsväggar av trä visades att det inte är någon större skillnad i uppströms klimatpåverkan mellan passivhus och BBR-hus, varken för ursprungskonstruktionen eller om ytterväggarna ersätts med utfack-ningsväggar av trä, se Figur 20 och Figur 21. För de två BBR-husen (betong och trä) är uppströms klimatpåverkan lägre än i grund-scenariot på grund av mindre betong-mängder i konstruktionen. Den totala klimatpåverkan för BBR-husen blir dock högre än för Blå Jungfrun på grund av ökad

energianvändning i driftskedet, se Figur 19 och Figur 20. För husen med utfackningsväggar i trä gör det ingen större skillnad uppströms om huset byggs till passivhus eller BBR-standard, eftersom det inte är någon skillnad i betongmängd mellan de två, se Figur 22.

Syftet med analysen av dessa scenarier var endast att göra en grov uppskattning av hur fördelningen av klimatpåverkan mellan olika livscykelskeden ändras vid vissa ändringar i konstruktionen. De scenarier som har analyserats måste därför ses som mycket förenklade jämfört med verklig konstruktion. När det gäller garaget har endast vissa materialkomponenter inkluderats (se avsnitt 6.1) och eventuella förändringar i energianvändning under byggnadens driftskede till följd av garaget har inte heller inkluderats. Gemensamt för alla scenarier är vidare att det endast är klimatpåverkan från materialproduktionen som har räknats in (undantaget är det markarbete som inkluderas i garaget). Grova uppskattningar har gjorts av materialmängder, genom till exempel mätningar på ritning. Dessa förenklingar påverkar givetvis resultatet men fallstudien visar emellertid att det alltid är viktigt att åstadkomma ett energieffektivt klimatskal.

# 8 Slutsatser

Denna studie visar att uppströms och nedströms klimatpåverkan för ett nybyggt flerbostadshus i betong är i ungefär samma storleksordning för en analysperiod på 50 år och antagande om nordisk elmix samt svensk medelfjärrvärme för driftskedets energianvändning. Studien visar därmed på betydelsen av att ta hänsyn till den inbyggda klimatpåverkan i planering av ny bebyggelse och vid renovering av befintliga hus, särskilt som det kan antas att energianvändningen i byggnadens driftskede både minskar och blir mindre klimatpåverkande i framtiden. Över livscykeln är det materialproduktionen och driftskedets energianvändning som står för störst klimatpåverkan. Underhåll, utbyte och renovering står för en mindre men inte obetydlig del, i synnerhet om man räknar på en längre analysperiod.

Andelen total kumulativ energianvändning som sker uppströms är lägre än andelen uppströms klimatpåverkan, men samtidigt större än i studier som legat till grund för påståendet att endast 15 % av energin kan relateras till byggandet.

Några förenklade, alternativa konstruktionslösningar beräknades också i studien. Om Blå Jungfruns grundscenario jämförs med en konstruktion där delar av ytterväggarna ersatts av lätta utfackningsväggar av trä minskar uppströms klimatpåverkan med cirka 15 %, men inte mer på grund av fortsatt stora betongmängder i husen. Klimatpåverkan uppströms är något högre för Blå Jungfruns grundscenario och för en alternativ konstruktion i form av passivhus med lätta utfackningsväggar av trä än för motsvarande hus med en energiprestanda enligt dagens minimikrav i BBR. Studien visar emellertid entydigt att det alltid är viktigt att skapa energieffektiva klimatskal även om det leder till något ökade materialmängder. Klimatpåverkan som uppstår på grund av ökad energianvändning i driftskedet är större än den ”klimatvinst” som görs genom att spara in på betong och isoleringsmaterial.

Samtidigt visar studien tydligt på att byggprocessens klimatpåverkan är en mycket viktig miljöaspekt att hantera vid byggande av bostäder. Den beräknade klimatpåverkan för Blå Jungfrun bedöms vara representativ för dagens produktion av flerbostadshus i betong med lågenergiprofil. Trots att materialproduktionen ger det största bidraget till klimatpåverkan i byggprocessen är detta något som vare sig byggherrar eller entreprenörer ställer krav på i dag. Studien visar också att analysperioden har stor betydelse för resultaten oavsett materialval.

Exempel på viktiga åtgärder för att minska klimatpåverkan från byggprocessen är förbättrade produktionsmetoder för cement och betong som innebär lägre utsläpp av växthusgaser samt att använda mindre mängder betong. Val av isolering för rätt ändamål är också viktigt. Vi vill i detta sammanhang understryka att syftet med studien enbart har varit att studera energianvändning och klimatpåverkan, och inte olika materials övriga tekniska egenskaper. Exempelvis är brand- och bulleregenskaper samt möjlighet till effektreduktion viktiga egenskaper men har inte studeras här.

Viktiga åtgärder för minskad klimatpåverkan och energianvändning i byggskedet omfattar exempelvis minskat materialsvinn, användning av energieffektiva maskiner och byte till förnybara bränslen, samt energieffektiva byggbodar.

Under resans gång har vi i projektet berört alltifrån materialval till om och när tiden är

mogen att ställa skarpa krav på minskade koldioxidutsläpp från byggprocessen. Vi har kunnat konstatera att arbetet med att få LCA-beräkningar att bli entydiga, dvs. att samma svar erhålls oavsett vem som gör beräkningarna, har gått snabbt framåt de senaste åren och att detta idag är möjligt att uppnå för byggprodukter. När det gäller att LCA-beräkningar för byggnadsverk återstår en del arbete, men arbete pågår så att tiden snart kan vara mogen för att använda LCA som beslutsunderlag i utformning och upphandling av byggprojekt.

# 9 Rekommendationer

Under projektets gång har arbetsgrupp, styrgrupp och referensgrupp identifierat ett antal områden där insatser krävs. Rekommendationerna nedan gäller såväl metod- och forskningsfrågor som konkreta åtgärder som olika aktörer, inte minst byggentreprenörer, kan vidta redan idag för att minska klimatpåverkan från byggandet.

## 9.1 Åtgärder för att minska klimatpåverkan från byggprocessen

En övergripande rekommendation från projektet är att frågan om klimatpåverkan från byggandet måste upp på bordet, och adresseras till beslutsfattare inom olika sektorer och på olika nivåer, för att något ska hända. I ett byggprojekt är det en komplicerad kedja av olika aktörer, beslutsfattare, leverantörer och utförare. Det är svårt för enskilda aktörer att få en helhetsbild och att agera på egen hand. Därför behöver alla bidra med sin del, men i nära samverkan med övriga så att alla drar åt samma håll. När IVA och Sveriges Byggindustrier presenterade Almedalsrapporten om klimatpåverkan från byggprocessen var det många som blev överraskade av att koldioxidutsläppen från byggandet var så stort. Ett direkt resultat av rapporten var att den förra regeringen gav Boverket i uppdrag att utreda forsknings- och kunskapsläget angående byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv. Ett annat direkt resultat är att en strategisk innovationsagenda för området nu håller på att formuleras.

Beställare, byggföretag, projektutvecklare med flera måste analysera och tydliggöra byggprocessens klimatbelastning, så att de kan identifiera sin egen roll och därmed bidra till ökad kunskap om området.
Det behövs en dialog mellan sektorns aktörer, myndigheter och politiker så att politiska beslut tas med kunskap om klimatpåverkan av byggprocessen. Även kommuner bör uppmärksamma klimatfrågan i byggprocessen vid planering. En rekommendation är att placera byggnader så att befintlig infrastruktur kan utnyttjas så långt det är möjligt. Och att anpassa mark- och anläggningsarbeten så att massförflyttning begränsas.

Om det i framtiden börjar ställas krav från beställare på att minska klimatpåverkan från byggandet krävs det att beräkningar görs på samma sätt för att kunna formulera entydiga och uppföljningsbara mål. Ökad erfarenhet och kompetens i dessa frågor krävs också hos byggsektorns aktörer för att förenkla förfarandet att genomföra sådana beräkningar som praxis. Ett första steg bör därmed vara att börja dokumentera/koppla material- och bränslemängder för åtminstone de viktigaste materialgrupperna och redovisa klimatpåverkan och energianvändning mer rutinmässigt.

Ett annat steg på vägen kan vara att berörda myndigheter, till exempel Trafikverket och Boverket, utvecklar upphandlingsmodeller i samarbete med branschen, för att stimulera till minskad klimatbelastning vid investeringar. Arbete i denna riktning pågår i ett annat projekt (SBUF-projekt nr 13016).

Metodiken för beräkningar av byggandets klimatpåverkan bör vara nationell, eller ännu hellre EU-gemensam, så att den kan användas av alla aktörer i Sverige (och EU). Här är standardiseringsarbetet nu långt gånget men det återstår att testa fullständiga LCA-beräkningar i fler skarpa projekt än föreliggande, och att koppla detta till krav och avtal ligger ännu i ett par steg fram i mognadsprocessen. Innan krav kan ställas i upphandlingar måste en bredare kunskap byggas upp inom sektorn annars

riskerar olämpliga krav att leda till sub-optimeringar. Det är exempelvis viktigt att minskning av byggprocessens miljö-påverkan inte sker på bekostnad av husets prestanda (funktioner) under sin livslängd, utan att grundläggande tekniska krav, inklusive en god innemiljö, klaras oavsett vilket material man bygger med. Med rätt teknik, kvalitet och kompetens finns ingen konflikt mellan dessa grundläggande krav och ett miljöanpassat byggande.

För att kunna jämföra resultat mellan fallstudier krävs transparent redovisning. I och med CEN-standardernas tillkomst underlättas detta och en rekommendation är att standarden bör följas och avvikelser från den dokumenteras i liknande studier samt att resultat ska redovisas enligt standardens modultabell. Byggbranschen och forskare bör i samverkan utveckla och standardisera metodfrågor ytterligare så att alla beräkningar utförs med samma förutsättningar och ger jämförbara resultat. Även en branschgemensam kvalitetsrapport för mängddata och LCA-beräkningarna skulle underlätta jämförelser mellan olika byggnader som beräknats av olika konsulter.

Formas, Vinnova med flera statliga forskningsfinansiärer behöver, vid allokering av medel för forskning och kunskapsspridning, uppmärksamma klimatpåverkan från både byggprocessen och driftskedet för olika utföranden.

Privata och offentliga beställare bör redan vid förstudier efterfråga alternativa utföranden som ger lägre klimatpåverkan. Nyproducerade byggnader och anläggningar bör, så snart metodfrågorna är standardiserade, klimatdeklareras även vad gäller byggprocessen.

I upphandlingar måste projektspecifika data användas, i stället för genomsnittliga standarddata, för att stimulera till positiv utveckling. Bättre klimatprestanda måste ge en konkurrensfördel för de entreprenörer och leverantörer som arbetar med frågan. Materialleverantörerna har då en viktig roll och dessa behöver därmed stimuleras att redovisa klimatpåverkan och energianvändning av sina produkter. Detta kan ske genom att beställares krav på entreprenören (och därtill förhoppningsvis kopplad betalningsvilja) förs vidare på materialleverantören.

Produktionsmetoder med mindre klimatbelastning vid såväl tillverkning som användning (inklusive underhåll) behöver utvärderas och utvecklas för både nya och befintliga material och produktermed. Här finns redan idag goda exempel på hur företag jobbar med att minska klimatpåverkan från byggmaterialproduktion, men aktiviteterna behöver ökas ytterligare.

Studien visar i synnerhet på den ökade betydelsen av uppströms klimatpåverkan i förhållande till driftens energianvändning nedströms. Dagens byggregler beaktar inte alls miljöpåverkan och resursanvändning i byggprocessen. Studien visar att det kan finnas anledning att börja utreda detta.

På den frivilliga sidan finns miljöcertifieringssystemen Miljöbyggnad, Svanen, BREEAM och LEED som används idag i Sverige. BREEAM och LEED används framför allt i större projekt medan Miljöbyggnad alltmer har utvecklats till ett brett använt miljö- och kvalitetsstyrningsverktyg. Miljöbyggnad innehåller dock inga indikatorer som styr mot låg miljöpåverkan eller resursanvändning av byggproduktionen. Detta är en tydlig fråga för Miljöbyggnads vidareutveckling.

För att kunna följa sektorns arbete med dessa frågor behövs nationell statistik över klimatpåverkan från byggprocessen, helst uppdelad på modulerna A, B1 och B2. Detta behov kan eventuellt tillgodoses genom

Boverkets, SCB:s med fleras pågående arbete med att ta fram indikatorer för uppföljning av miljökvalitetsmålet God bebyggd miljö. Den metod som då tillämpas är inte direkt jämförbar med den precision som kan uppnås med LCA-data men ger en god överblick och är framförallt bra för att på ett kostnadseffektivt sätt följa trender. För att statistiken ska vara användbar för uppföljning av framsteg inom detta område är det viktigt med långa tidserier eftersom byggproduktionen i Sverige varierar från år till år, både i omfattning och i fråga om vad som byggs. Det är också viktigt att klimatpåverkan från byggprocessen kan särskiljas från klimatpåverkan från driftfasen statistiken.

### 9.1.1 Byggbolagens roll

Att redovisa klimatpåverkan från byggprocessen på ett entydigt, transparent och lättbegripligt sätt är nödvändigt för att synliggöra det arbete som redan pågår i byggsektorn för att minska klimatpåverkan från byggprocessen och för att skapa incitament för vidare utveckling. Det är viktigt att byggbolagen själva tar initiativ till att frivilligt klimatdeklarera nyproducerade byggnader och anläggningar avseende byggprocessen. De större bolagen bör gå före och visa kompassriktningen.

För att minska klimatpåverkan från byggprocessen finns det mycket som byggentreprenören kan göra redan idag. En viktig del handlar om att arbeta systematiskt med att minska klimatpåverkan i varje enskilt byggprojekt. Cirka 70 procent av den el som används i byggproduktionen går till belysning och uppvärmning av byggbodar. Övriga poster är uttorkning, uppvärmning av förrådscontainrar, drift av kranar, byggfläktar och andra verktyg.

Väsentligt är också att effektivisera materialtransporter till byggarbetsplatsen genom kloka logistiklösningar och genom att välja transporter (både egna och externa) med förnybara drivmedel. Vid totalentreprenad måste energieffektiviseringskrav ställas på underentreprenörerna (UE) redan vid upphandling, dvs. UE ska redovisa hur de aktivt arbetar med energieffektivisering av sin del i byggprocessen. Ett exempel är att krav på eco-driving kan ställas redan vid upphandling.

Det borde vara en självklarhet att materialleveranser sker med lagstadgad hastighet, men så länge detta inte är fallet kan tydliga upphandlingskrav på detta vara ett annat sätt att minska klimatpåverkan från byggproduktionen. Om samtliga tunga fordon på svenska vägar skulle hålla hastighetsbegränsningarna skulle den årliga klimatpåverkan minska med 230 000 ton $CO_2$ ekv. (Trafikverket, 2013). Det är samtidigt en viktig säkerhetsfråga.

När det gäller byggproduktionen på arbetsplatsen är det både klimatklokt och ekonomiskt lönsamt att ersätta eventuella ineffektiva bensin- och dieseldrivna arbetsmaskiner med effektivare maskiner (t.ex. eldrivna) och/eller maskiner som drivs med förnybara bränslen. Belysning på byggarbetsplatsen bör vara energieffektiv LED-belysning med tidsreläer. Eleffektiviseringspotentialen är upp till 80 procent jämfört med traditionell belysning. Närvarostyrning är också ett hjälpmedel för detta.

Utvecklingen av energieffektiva byggbodar har gått snabbt och det finns idag flera alternativ på marknaden. Besparingspotentialen är utan vidare 50 procent. Byggbodar går även att ansluta till fjärrvärme, vilket i de allra flesta fall leder till minskade utsläpp av koldioxid. Ett alternativ om fjärrvärme inte finns tillgängligt är att använda värmepump eller FTX-aggregat för uppvärmning respektive energieffektivisering av byggbodar och varmvattenproduktion. En annan

möjlighet är att ansluta termiska solfångare för varmvattenproduktion.

Verktygscontainrar bör vara isolerade och försedda med luftsluss och självstängande dörrar. Ett enkelt och effektivt sätt styra mot ökad eleffektivisering på arbetsplatsen är att beställaren låter entreprenören och UE själva stå för kostnaden för el i stället för att beställaren står för detta.

En annan viktig del i klimatarbetet handlar om inköp. Inköparna på byggföretagen har en viktig roll genom att ställa krav på materialleverantörerna vid upphandling. Ett exempel är krav på tydliga klimatredovisningar (EPD) för produkterna. Här är ledningens medverkan och stöd en väsentlig förutsättning för att klimatkraven ska få genomslag i praktiken.

Klimatbelastningen från uttorkning av byggstommen kan minskas både genom att optimera materialval och byggmetoder, och genom att redan i ett tidigt skede ansluta bygget till fjärrvärme med en mobil undercentral. Denna fråga kopplar till både konstruktion, inköp och produktion, och behöver därför hanteras av byggföretagen både centralt och ute på byggena, och fjärrvärmeanslutning måste tidigt läggas in i arbetsplatsdispositionsplanen (APD-planen).

Tillverkning av asfalt vid lägre temperatur sparar både energi, vilket är en direkt kostnadsbesparing, och minskar koldioxidutsläppen. Återvinning av asfalt likaså. Inblandning av koksaska eller gips i betong reducerar utsläpp av koldioxid. Tekniken finns redan utvecklad.

Huvuddelen av det som nämnts ovan har redan utprovats i praktiken och kan därför redan tillämpas av branschens aktörer utan ytterligare insatser utöver informations- och kunskapsspridning. Andra åtgärder behöver provas och utvärderas innan marknadens aktörer känner sig trygga att vidta dem. Däremellan på skalan finns behovet av demonstrationsprojekt.

En övergripande drivkraft för entreprenören är naturligtvis ekonomin. Huvuddelen av energieffektiviseringsåtgärderna är redan lönsamma. Det som behöver utvecklas är tydligare ekonomiska drivkrafter som styr mot minskad klimatpåverkan från byggnader i ett livscykelperspektiv. Energieffektivisering är en mycket viktig del i detta men fångar exempelvis inte hela klimatpåverkan från byggmaterialproduktionen.

Energieffektivisering handlar inte enbart om teknik utan även om ett ändrat förhållningssätt och löpande uppföljning för att kunna utveckla ständiga förbättringar. Att utse en energiansvarig underlättar arbetet.

Det är också väsentligt att även byggherrarna i sina upphandlingar blir bättre på att ställa krav på entreprenörerna så att en effektiv energianvändning även sker under byggprocessen. Hittills har deras intresse varit begränsat men mycket tyder på att det kommer att öka snabbt.

Det finns flera användningsområden för LCA hos entreprenörer, t.ex. utveckling av innovativa miljöneutrala byggprodukter och byggteknik. Industriella projekt- och produktutvecklingsmetoder i bygg- och anläggningsprojekt bör leda till uppfyllande av funktionella och ekonomiska krav, men även ge den optimalt möjliga klimat- och miljöprestandan efter projektets geografiska placering, det nordiska klimatet mm. Det är också av största vikt att livscykelperspektivet inkluderas vid exempelvis val av byggmaterial, inköp av insatsvaror och transporttjänster hos byggföretag.

Med ett strukturerat och transparent arbetssätt för att verifiera klimatprestanda kan byggföretag effektivisera sitt klimatarbete, t.ex. genom att skapa LCA-bibliotek med företags- och leverantörsspecifika byggmaterial och byggteknik samt säkerställa att man gör på samma sätt och därmed kan jämföra typprodukter över tiden och kartlägga förbättringar vid utförande av byggprojekt. Skapande av färdiga byggtekniska lösningar med i förväg utvärderade miljö- och klimatprestanda går hand i hand med principer för ett industriellt byggande, vilket i sin tur sparar tid, resurser och pengar åt både entreprenör och beställare.

Att kunna verifiera en bättre klimatprestanda för entreprenörens egna produkter och byggsystem i jämförelse med branschgenomsnittet kommer att kunna ge konkurrensfördelar inom de närmaste åren. Detta arbete kommer även att kunna ge konkurrensfördelar för svenska byggföretag internationellt genom nya affärserbjudanden med hållbara produkter, stärka varumärke och anseende och även skapa attraktionskraft för potentiella nya anställda, kunder och aktieägare.

## 9.2 Fortsatt arbete för att kunna tillämpa LCA på byggandet

### Detaljerade studier av andra miljöpåverkanskategorier

I denna studie beräknades endast klimatpåverkan och kumulativ energianvändning. Det behövs även studier av andra miljöpåverkanskategorier för att undvika suboptimerade beslut. Förnybara energislag och de material som används för att konstruera byggnader med låg inbyggd energi och klimatpåverkan kan ha en högre miljöpåverkan om annan typ av miljöpåverkan beräknas.

### Detaljerade studier av delmoduler

Flera förenklingar och antaganden har gjorts i detta projekt, särskilt när det gäller beräkningar för underhåll, utbyte och renovering (modul B2, B4-5) och slutskedet (modul C), de olika scenarierna i kapitel 6 (garage, BBR-hus i betong/trä), samt kumulativ energianvändning uppströms. Detta beror på begränsade möjligheter inom ramen för projektet, men också på begränsad datatillgång och brist på transparens i indata.

För att utveckla livscykelberäkningar enligt standarden EN 15978 i Sverige är det därmed intressant med mer detaljerade studier av underhåll, utbyte och renovering (modul B2-5) och slutskedet (modul C), samt transporter (modul A4) och byggproduktionen (modul A5). I dessa studier bör alla relaterade aktiviteter ingå, såsom transporter och byggproduktion. Vidare bör studierna baseras på verkliga materialmängder och transportavstånd. I denna studie framkom också att indata i form av materialmängder och produkter tillhandahållna av underentreprenörer inom el, VA och ventilation var bristfälliga vilket därmed utgör ett område för noggrannare studier. Sådana detaljerade studier kan utgöra värdefulla referenser vid framtida beräkningar.

Data om byggnaden och produktionen i projektkalkyler kan enligt denna studie användas för liknande beräkningar. Undantag utgör material, produkter, etc. I övrigt kan materialsidan ses som tillfredsställande. Vidare finns idag få mer detaljerade studier av transporter (modul A4) och byggproduktionen (modul A5), vilket vore intressant för att bättre upptäcka förbättringspotentialer samt hur olika strategier inverkar på de totala resultaten. I denna studie har exempelvis schabloner från kalkylen utnyttjats för att beräkna omfattningen av spillmaterial i byggproduktionen (modul A5) samt bränsleanvändning för arbetsmaskiner på byggplatsen.

### Studier av fler typiska hus och konstruktionslösningar

Motsvarande beräkningar bör även göras för andra typer av byggnader, till exempel massivträ. I denna studie var det inte stora skillnader mellan konstruktion av passivhus och BBR-hus med utfackningsväggar av trä, på grund av fortsatt stora betongmängder i huset. Resultatet blir rimligen annorlunda i ett hus av massivträ.

Sannolikt kommer det bli vanligare att krav ställs även på uppströms klimatpåverkan i byggprojekt. Då krävs en bank av beräknade referenshus enligt likartad metodik för att få fram lämpliga referensvärden. Samtidigt tar detta inte fokus från att varje upphandlat projekt ska utgå ifrån projektspecifik klimat- (eller miljö-)påverkan.

### Känslighetsanalyser av betydande materialgrupper

Betong visade sig vara den materialgrupp som bidrar mest till byggnadens klimatpåverkan. I detta projekt var det inte möjligt att göra känslighetsanalyser på materialnivå. Därför föreslås ytterligare analyser för att studera hur val av LCA-data, transportavstånd, etc. påverkar betongens bidrag till byggnadens klimatpåverkan.

I denna studie beräknades endast klimatpåverkan och kumulativ energi. Förnybara energislag och material som används för att konstruera byggnader med låg inbyggd energi och klimatpåverkan kan ha en högre miljöpåverkan inom andra kategorier. Därför behövs studier av andra miljöpåverkanskategorier för att undvika suboptimerade beslut.

### Strategier för låg uppströms klimatpåverkan/demonstrationsprojekt

Studien visar på vikten att börja finna strategier för att minska också uppströms klimatpåverkan och energianvändning. Det kan handla om åtgärder som rör minskade betongmängder, användning av återvunna material, yteffektivitet och flexibla konstruktioner. Inom ramen för IEA Annex 57 samlas sådana fallstudier men det finns idag få svenska exempel. Det sker fördelaktligen inte enbart med teoretiska beräkningar utan också demonstrationsprojekt.

Demonstrationsprojekt är viktiga för att visa hur låg uppströms klimatpåverkan och kumulativ energianvändning kan nås i praktiken. Dessa kan utföras på byggnadsnivå (till exempel alternativa konstruktionslösningar och utformningsfrågor) samt på materialnivå (till exempel förbättrade produktionsprocesser). Även under byggskedet är demonstrationsprojekt intressanta, till exempel reduktion av mängden spillmaterial och energieffektivisering av byggprocessen.

### Livscykeldata

Ett problem i beräkningarna är tillgången på representativ miljödata i databaser. En öppen svensk databas liknande KBOB-listan skulle öka tillgången till livscykeldata som är representativ för den svenska byggsektorn och öka möjligheten att samma bakgrundsdata används i olika beräkningar, oavsett vem som utför dem. Denna databas bör innehålla miljöpåverkanskategorierna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning, men också andra kategorier.

### Förändringsperspektivet

I denna studie utfördes en bokförings-LCA. Som ett komplement kan även konsekvens-LCA utföras. En konsekvens-LCA skulle kunna användas för att svara på frågorna: ”Om all nyproduktion framöver sker på samma sätt som i Blå Jungfrun, vad skulle det innebära för energisystemet i stort?” och ”Vilka är då de viktigaste åtgärderna som byggsektorn kan vidta för att minska klimatpåverkan?”, eller ”Vad blir konsekvensen om man väljer en byggkonstruktionslösning före en annan med en skillnad i energi-

användning under såväl byggskedet uppströms som under driftskedet nedströms?". För att besvara sådana frågor är det mer relevant att använda marginalvärden[11] för elproduktion än medelvärden. Detta då den typen av frågor handlar om byggsektorns agerade i stort och vilka konsekvenser det får på andra system, t.ex. energisystemet.

### Göra beräkning av uppströms miljöpåverkan till praxis i byggprojekt

Det är i dag inte praxis i Sverige att göra en miljöbedömning av uppströms klimatpåverkan i ett byggprojekt. Denna studie har visat att uppströms processer står för en betydande del av en byggnads totala klimatpåverkan. Praktiskt tillämpbara verktyg som underlättar bedömningar av uppströms klimatpåverkan är därför nödvändiga. Det bör både handla om optimeringsverktyg för utformning och val av konstruktionslösningar i tidiga skeden och deklarationer av färdiga byggnader.

Idag genomförs ibland s.k. klimatdeklarationer av färdiga projekt. Liknande livscykelanalyser används däremot ännu inte idag för att förbättra design och utformning tidigt i planeringen. Detta innebär också att aktörerna i byggproduktionen inte enbart ska fokusera på att minimera uppströms miljöpåverkan utan också försöka göra goda val som minimerar nedströms påverkan avseende driftenergi och framtida underhålls-, utbytes- och/eller renoveringsbehov. Detta kan tala för att det är bättre att fortsatt använda termen "inbyggd" miljöpåverkan och energianvändning.

I tidiga planeringsskeden är omfattande LCA inte möjligt/nödvändigt utan andra och olika typer av mjukvaror behövs. Till exempel har KTH utvecklat en prototyp på en mjukvara för att formulera LCA-relaterade miljömål och finna optimerade lösningar just i tidiga skeden (för byggande av nya bostäder och för renovering). Utvecklingen av BIM (Building Information Modelling) har också potentialen att förenkla genomförandet av livscykelberäkningar under hela byggprocessen, men som alltid behöver BIM-modellerna kopplas till relevanta och transparenta LCA-databaser eller databaser med EPD:er (Environmental Product Declaration) för att göra det möjligt.

### Samordning av olika begrepp och system för klimatinformation

Allteftersom fler beställare efterfrågar en tydlig presentation av konsekvenser för miljö och klimat av olika alternativa material och byggtekniker i ett livscykelperspektiv har entreprenörer i ökad utsträckning börjat efterfråga klimatinformation bl.a. i samband med anbud och materialinköp. Leverantörer och producenter har i sin tur sett möjligheter att använda klimatinformation i marknadsföringssyfte. Några begrepp som nu förekommer på marknaden är klimatmärkning, klimatneutrala produkter, klimatkompensation, klimatde¬klarationer, klimatkalkyler, Carbon Footprint m.fl. Det är viktigt att en produkt som kallas klimatanpassad eller klimatneutral har fått sin märkning baserat på trovärdiga beräkningar av klimatpåverkande utsläpp sett i ett helhetsperspektiv. Alla dessa begrepp är förvirrande för sektorns aktörer och det behövs standardisering och samordning för att behålla tilliten till de olika märkningarna.

[11] Så kallad marginalel, vilken inom de närmaste åren utgörs av fossil elproduktion i Danmark och Tyskland (Elforsk 08:30), har högre klimatpåverkan än den medelel som använts i vår bokförings-LCA i detta projekt.

# Referenser


Adalberth, K., Almgren, A. och Holleris Petersen, E. (2001). Life Cycle Assessment of four Multi-Family Buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings,* vol. 2.

Baumann, H. och Tillman, A.M. (2004). The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund, Sverige: Studentlitteratur AB.

Brodin, E. (2014). *Handel med ursprungsgarantier.* [Telefonsamtal] (Personlig kommunikation med Elin Brodin, Energimarknadsinspektionen).

Brown, N., Olsson, S. och Malmqvist, T. (2014). Embodied greenhouse gas emissions from refurbishment of residential building stock to achieve a 50 % operational energy reduction. *Building & Environment*, vol. 79, ss. 46-56.

Circular Ecology (2014). *Embodied energy and carbon – The ICE database.* [Online] Tillgänglig via: http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html [Hämtad 8 december 2014]

Collins, F. (2010). Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 15, ss. 549-556.

Dahlstrøm, O., Sørnes, K., Tveit Eriksen, S. och Hertwich, E.G. (2012). Life cycle assessment of a single-family residence built to either conventional- or passive house standard. *Energy and Buildings*, vol. 54, ss. 470-479.

Dodoo, A., Gustavsson, L. och Sathre, R. (2010). Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard. *Resources, Conservation and Recycling.* 54(12), ss. 1152-1160.

Dodoo, A., Gustavsson, L. och Sathre, R. (2011). Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective. *Energy and Buildings.* 43(7), ss. 1589-1597.

Energimarknadsinspektionen (2011). *Ursprungsmärkning av el. EI R2011:10.* Eskilstuna, Sverige: Energimarknadsinspektionen.

Energimarknadsinspektionen (2014a). *Ursprungsmärkning av el.* [Online] Tillgänglig via: http://www.energimarknadsinspektionen.se/sv/el/elmarknader-och-elhandel/ursprungsmarkning-av-el/ [Hämtad 14 juni 2014]

Energimarknadsinspektionen (2014b). *Statistik residualmix 2012.* [Online] Tillgänglig via: http://www.energimarknadsinspektionen.se/sv/el/elmarknader-och-elhandel/ursprungsmarkning-av-el/ursprungsmarkning-information-framst-for-elhandelsforetag/residualmixen/ [Hämtad 19 juni 2014]

Engelsen, Justnes, Lyng, Rønning, Vold, Svanes (2014). Karbonopptak i betong – En studie i CO2 opptak fra karbonatisering i norske betongkonstruksjoner og inkludering av CO2 opptak i miljøregnskap. Miljøkomiteen i Norsk Betongforening, Rapport nr. 4, Juni 2014.

ENTSO-E (2012). Yearly Statistics & Adequacy Retrospect 2012. [PDF] Bryssel, Belgien: European Network of Transmission System Operators for Electricity. Tillgänglig via: https://www.entsoe.eu/publications/statistics/yearly-statistics-adequacy-retrospect/ [Hämtad 3 juni 2014]

Environdec (2011). *Product category rules: Electrical energy (CPC 171), Steam and hot water (CPC 173).* PCR 2007:08, version 2.01, The international EPD®system, 2011-12-05.

Eriksson, M. och Ahlgren, S. (2013). *LCAs of petrol and diesel. A literature review.* [PDF] Uppsala, Sweden: SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för energi och teknik. Rapport 2013:058. Tillgänglig via: http://pub.epsilon.slu.se/10424/17/ahlgren_s_and_eriksson_m_130529.pdf [Hämtad 22 oktober 2014].

Erlandsson M. (2010a). Generell byggproduktinformation (BPI) för bygg- och fastighetssektorn: Miljödata för krossprodukter och naturgrus. Stockholm, Sverige: IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL rapport C12.

Erlandsson M. (2010b). Generell byggproduktinformation (BPI) för bygg- och fastighetssektorn: Miljödata för cement och fabriksbetong. Stockholm, Sverige: IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL rapport C13.

Erlandsson, M. (2011). Generell byggproduktinformation (BPI) för bygg- och fastighetssektorn: Miljödata för prefabricerad betong. Stockholm, Sverige: IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL rapport C11.

Erlandsson, M. (2013). Generell byggproduktinformation (BPI) för bygg- och fastighetssektorn: Miljödata för arbetsfordon. Stockholm, Sverige: IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL rapport C9.

Erlandsson, M. (2014). Nu kan alla göra miljö- och klimatberäkningar. *Bygg & Teknik, 2/14.*

Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L-G. och Jelse, K. (2014). Robust LCA: *Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner*. Stockholm, Sverige: IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL rapport B 2122, januari 2014.

FEBY (2007). Kravspecifikation för passivhus i Sverige – Energieffektiva bostäder. Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus Version 2007:1. Forum för energieffektiva byggnader.

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koeler, A., Pennington, D. och Suh, S. (2009). Recent development in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, vol. 91, ss. 1-21.

Grexel (2014). *Energy statistics*. [Online] Tillgänglig via: http://www.grexel.com/home [Hämtad 19 juni 2014] Hong, J., Q.P. Shen, G. och Feng, Y. (2013). *Life Cycle Assessment of Green Buildings: A Case Study in China*. ICCREM, 2013, ss. 209-220.

IEA (2001). Directory of tools. A survey of LCA tools, Assessment frameworks, Rating systems, Technical guidelines, Catalogues, Checklists and Certificates. IEA Annex 31. Paris: IEA.

IEA (2014). *Energy statistics.* [Online] Tillgänglig via: http://www.iea.org/statistics/ [Hämtad 14 juni 2014]

ISO 14040:2006. ISO 14040 International Standard. Environmental management — Life cycle assessment – Principles and framework. Geneve, Schweiz: International Organization for Standardization.

Jernkontoret (2012). *Beräkning av koldioxidutsläpp för olika energislag.* [Online] (Uppdaterad 15 augusti 2012) Tillgänglig via: http://www.energihandbok.se/x/a/i/10214/Berakning-av-koldioxidutslapp-for-olika-energislag.html [Hämtad 3 juni 2014]

Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K. och Bruno, F. (2014). Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis. *Building and Environment*, vol. 73, ss. 106-114.

KBOB (2012). Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1. Stand Juli 2012. [PDF] Tillgänglig via: http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/ [Hämtad 14 juni 2014]

Kellner, J. (2014). *Betongdimensioner i nykonstruktion.* [E-mail] (Personlig kommunikation med Johnny Kellner, Veidekke).

Kuikka, S. (2012). *LCA of the Demolition of a Building. An assessment conducted at IVL Swedish Environmental Research Institute.* Göteborg, Sverige: Chalmers tekniska högskola, institutionen för energi och miljö, avdelningen för miljösystemanalys. Examensarbete.

Larsson, G. (2014). *Betongdimensioner Blå Jungfrun.* [E-mail] (Personlig kommunikation med Gustav Larsson, Skanska).

Liljenström, C. m.fl. (2014). Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadhus i betong med lågenergiprofil. KTH: Arkitektur och Samhällsbyggnad, Stockholm. TRITA-INFRA-FMS 2014:02. ISBN 978-91-7595-218-5 . ISSN 1652-5442.

Lützkendorf, T. och Balouktsi, M., eds. (2013). Annex 57: Evaluation of Embodied Energy & Carbon Dioxide Emissions for Building Construction. Subtask 1. Basics – Actors and Concepts. Part 1 – Terms, Definitions and System Boundaries of Embodied Energy and Embodied $CO_2$ Emissions. Discussion Report – 09 September 2013, version 1.1.

Milander, P-O. (2014): *Information om köpt hetvatten från andra fjärrvärmeleverantörer.* [Telefonsamtal] (Personlig kommunikation med Per-Olof Milander, Fortum)

Nilsson, J-O. (2011). CO2-cycle in cement and concrete. Part 7: Models for CO2-absorption. A new model for CO2-absorption of concrete structures. Lund: Lunds tekniska högskola, Byggnadsmaterial. Report TVBM-3158.

Nordström, J. och Ståhl, K. (2013). *Energiuppföljning av projekt Blå Jungfrun. Passivhus Norden 2013.* Tillgänglig via: http://www.laganbygg.se/UserFiles/Presentations/27._Session_7_J.Nordstrom.pdf [Hämtad 26 maj 2014]

Ramesh, T., Prakash, R. och Shukla, K.K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, vol. 42, ss. 1592-1600.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, D., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.P., Suh, S., Weidema, B.P. och Pennington, D.W. (2004). Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, vol. 30, ss. 701-720.

RE-DISS (2012). Best Practice Recommendations for the implementation of Guarantees of Origin and other tracking systems for disclosure in the electricity sector in Europe. Version 2.1, December 2012. Reliable Disclosure Systems for Europe.

Sartori, I. och Hestnes, A.G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, vol. 39, ss. 249-257.

Skanska (u.d.). *Bilder på Blå Jungfrun*. [Online] Tillgänglig via: http://www.skanska.se/sv/Projekt/Projekt/?pid=7335&plang=sv-se [Hämtad 26 maj 2014]

Skanska (2014). *Energiuppföljning Blå Jungfrun.* Skanska Sverige AB: 2014-01-24.

STEM, 2013. *Energiläget 2013, ET 2013:22.* Eskilstuna, Sverige: Statens energimyndighet.

Stephan, A., Crawford, R.H. och de Myttenaere, K. (2013). A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses. *Applied Energy*, vol.112, ss. 23-34.

Svensk Betong (u.d.). *Skalvägg och VST-vägg.* [Online] Tillgänglig via: http://www.svenskbetong.se/produktion/flerbostadshus/vaegg/skalvaegg-och-vst-vaegg.html [Hämtad 26 maj 2014]

Svensk Fjärrvärme (2014). *Tillförd energi*. [Online] Tillgänglig via: http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/ [Hämtad 3 juni 2014]

Svenska Bostäder (2013). *Blå Jungfrun Hökarängen*. [Online] Tillgänglig via: http://www.svenskabostader.se/sv/Vi-bygger/Nybyggnation/Inflyttade/Bla-Jungfrun-Hokarangen/ [Hämtad 26 maj 2014]

Svenska Kraftnät (2014). *Om ursprungsgarantisystemet.* [Online] Tillgänglig via: http://certifikat.svk.se/Lists/PublicPages/Info.aspx [Hämtad 3 juni 2014]

Thormark (2002). A low energy building in a life cycle – its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment,* 37(2002), ss. 429-435

Trafikverket (2013). Delrapport Transporter – Underlag till färdplan 2050. Trafikverkets rapport nr. 2013:120. ISBN 978-91-7467-511-5

# Byggandets klimatpåverkan

## LIVSCYKELBERÄKNING AV KLIMATPÅVERKAN OCH ENERGIANVÄNDNING FÖR ETT NYPRODUCERAT ENERGIEFFEKTIVT FLERBOSTADSHUS I BETONG

CAROLINA LILJENSTRÖM och TOVE MALMQVIST, avdelningen för Miljöstrategisk analys (fms) KTH
MARTIN ERLANDSSON, JOHANNA FREDÉN och IDA ADOLFSSON, IVL Svenska Miljöinstitutet
GUSTAV LARSSON, Skanska Sverige AB, Grön affärsutveckling
MARIA BROGREN, Sveriges Byggindustrier

Denna rapport finns för nedladdning på www.sverigesbyggindustrier.se/publikationer
Rapporten ingår även i IVL Svenska Miljöinstitutets rapportserie som rapport C 68.

© Sveriges Byggndustrier 2015
Omslag foto: Jan Särnesjö
www.sverigesbyggindustrier.se

SVERIGES BYGGINDUSTRIER