



**KTH Arkitektur
och samhällsbyggnad**

Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften

Livscykelberäkning av klimatpåverkan och
energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i
betong med lågenergiprofil

Carolina Liljenström, Tove Malmqvist, Martin Erlandsson,
Johanna Fredén, Ida Adolfsson och Gustav Larsson

TRITA-INFRA-FMS 2014:02
ISBN 978-91-7595-218-5
ISSN 1652-5442

Miljöstrategisk analys – fms
Drottning Kristinas väg 30
100 44 Stockholm
www.kth.se/abe/fms



**KTH Arkitektur
och samhällsbyggnad**

Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften

Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i beting med lågenergiprofil

Carolina Liljenström¹, Tove Malmqvist¹, Martin Erlandsson², Johanna Fredén², Ida Adolfsson² och Gustav Larsson³

¹ Avdelningen för miljöstrategisk analys, fms, KTH

² IVL Svenska Miljöinstitutet

³ Skanska Sverige AB, Grön affärsutveckling

Titel:

Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil.

Författare:

Carolina Liljenström, Tove Malmqvist, Martin Erlandsson, Johanna Fredén, Ida Adolfsson och Gustav Larsson

TRITA-INFRA-FMS 2014:02

ISBN 978-91-7595-218-5

ISSN 1652-5442

IVL Rapport C32

Sammanfattning

Denna arbetsrapport avser del 1 av projektet *Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen* som finansieras av SBUF, IVA och IVL samt deltagande organisationerna Sveriges Byggindustrier, Skanska, Veidekke, NCC, Byggmaterialindustrierna, Svenska Bostäder, ÅF, PEAB, WSP och Regeringskansliet via Socialdepartementet. Syftet med denna del av projektet har varit att ta fram ett underlag inför ett seminarium anordnat av IVA och Sveriges Byggindustrier i Almedalen 2014. Seminariet syftar till att lyfta frågan om byggproduktionens klimatpåverkan och energianvändning och diskutera åtgärder för att öka insatserna för att begränsa klimatpåverkan kopplat till dessa aktiviteter. Hittills har denna del av byggnaders miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv inte blivit belyst i särskilt hög utsträckning utan fokus i regleringar och insatser har framför allt legat på byggnaders energianvändning och klimatpåverkan under drifttiden. I takt med ökat lågenergibyggnad och ökade andelar bibränslen i svensk fjärrvärme kan man emellertid förvänta sig att produktionen av husen kommer att ge ett procentuellt sett större bidrag på grund av minskat energibehov, ökad materialanvändning, etc.

Projektets huvudsakliga syfte är att kommunicera betydelsen av byggproduktionens miljöpåverkan inom svensk byggbransch, baserat på beräkningar för ett konkret, relevant och transparent exempel. Dels ämnar projektet alltså bidra med ett mått på produktionens klimatpåverkan och energianvändning för ett typiskt, nybyggt flerbostadshus med betongstomme samt lågenergiprofil. Dels är syftet att utifrån detta exempel få en uppdaterad bild om fördelningen mellan produktionens (uppströms) klimatpåverkan/energianvändning jämfört med driftens (nedströms). Det finns en hel del liknande fallstudier genomförda men i detta projekt har fokus legat på att kommunicera dylika resultat inom byggsektorn och till andra relevanta aktörer i Sverige. En ambition är därmed också att så långt möjligt tydligt dokumentera antaganden, beräkningsmetodik, använda systemgränser.

En svårighet med tidigare studier har varit att beräkningar utförts på olika sätt och med olika systemgränser och det har därför varit svårt att jämföra resultat från olika livscykelanalyser a med varandra. Den Europeiska standardiseringsorganisationen, CEN, har därför tagit fram ett mer standardiserat sätt att genomföra beräkningar av miljöprestanda av byggnadsverk. Dessa specificeras i standarden EN 15978. Vidare finns standarden EN 15804 som ger produktspecifika regler (PCR) för alla konstruktionsprodukter och byggtjänster. I detta projekt har dessa standarder legat till grund för alla väsentliga metodval. Standarderna har emellertid inte följts till fullo då de till exempel föreskriver bedömning av många olika typer av miljöpåverkan. I detta projekt har syftet vara att kommunicera tydligt klimatpåverkan och kumulativ energianvändning, varför inga andra miljöpåverkanskategorier beräknats.

En viktig metodvalsaspekt är att dessa standarder föreskriver tillämpning av så kallad bokförings-LCA. Bokförings-LCA skall användas då man vill besvara frågan "Vilken miljöpåverkan är förknippad med denna byggnad". Detta till skillnad från konsekvens-LCA som svarar på frågor av typen "Vad skulle hända om...?". Valet av LCA-typ har t.ex. betydelse för vilka elmixer som utnyttjas för beräkningarna, där marginalet används vid konsekvens-LCA medan produktspecifika val eller medelvärden används vid bokförings-LCA. Detta i sin tur har betydelse för vilken procentuell fördelning mellan uppströms och nedströms som erhålls.

Baserat på denna etablerade livscykelanalysmetod redovisas miljöpåverkan – beräknat som klimatpåverkan samt kumulativ energianvändning för en exempelbyggnad med en lågenergiprofil. I fas 1 av projektet inkluderas produktion av byggnaden motsvarande modul A1-5 i standarden

(råvaruutvinning, produktion av material, transporter till byggplats, uppförande av huset på byggplatsen) och driften motsvarande modul B6 (energianvändning under byggnadens driftstid). Modul A1-5 kallas i detta fall för uppströms och relaterar till byggnadens inbyggda klimatpåverkan och energianvändning, medan modul B6 kallas nedströms, se figur nedan. I fas 2 av projektet kommer också underhåll och rivning att studeras. Klimatpåverkan har beräknats utifrån ekonomiska kalkyldata vilket därmed ger en mycket heltäckande bild med hjälp av Skanskas applikation av datorverktyget Anavitor. Då Anavitor i dagsläget inte beräknar kumulativ energianvändning lika komplett har en mer schablonmässig beräkning av kumulativ energianvändning gjorts i denna fas av projektet.

Inbyggd		Livscykelinformation byggnad											Övrig information			
Uppströms					Nedströms							C 1-4 Slutskede			D Övrig miljöinfo	
A 1-3 Produktion			A 4-5 Konstruktion		B 1-7 Drift							C 1-4 Slutskede			D Övrig miljöinfo	
Råmaterial	Transport	Tillverkning	Transport	Konstruktions- installation	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Rivning	Transport	Avfallshantering	Sluthantering	Återanvändnings-, Återvinnings- & Materialåtervinnings potential
X	X	X	X	X						X						

Beräkningarna är gjorda för Blå Jungfrun som är ett nybyggt flerbostadshus i Hökarängen utanför Stockholm. Huset har en stomme och ytterväggar av betong och kan ses som representativt för ett flerbostadshus av betong med en lågenergiprofil. Beräkningarna av klimatpåverkan och kumulativ energianvändning har gjorts för tre olika antaganden om driftenergin: 1) "låg" - El och fjärrvärme producerad med hög andel förnybara bränslen, 2) "medel" - nordisk medelelmix samt svensk fjärrvärmemedel och 3) "hög" nordisk residualelmix samt fjärrvärme i storstadsnät.

Byggproduktionens (uppströms) klimatpåverkan uppgår enligt beräkningarna för Blå Jungfrun till 350 kg CO₂-ekv./m²A_{temp} med fördelningen produktion av material, A1-3 (84 %), transporter till byggplatsen, A4 (3 %) och uppförande A5 (13 %). För kumulativ energianvändning står byggproduktionen för i storleksordningen 4 GJ/m²A_{temp} (vilket motsvarar 1 100 kWh/m²A_{temp}) men fördelningar på delmoduler har inte varit möjligt att göra. Blå Jungfrun kan anses typiskt för dagens flerbostadsbyggande (dock utan garage under huset) med lågenergiprofil med betongstomme i avseendet mängd betong. Resultaten visar emellertid att betongkonstruktionen i Blå Jungfrun ger förhållandevis låga utsläpp jämfört med andra liknande hus.

När det gäller fördelningen mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan beror detta mycket på hur lång tid man räknar driften på (referensstudietid) samt scenarier för driftens energianvändning. Med en vanligt förekommande referensstudietid på 50 år, energiscenario medel enligt ovan samt exklusive hushållsel står uppströms i Blå Jungfrun för 54 % av klimatpåverkan och 27 % av den kumulativa energianvändningen. För de olika driftenergiscenarierna varierar uppströms klimatpåverkan mellan 12 och 84 % och för energianvändning mellan 12 och 34 % beroende på

scenario för driftskedets energianvändning samt om hushållsel ingår eller ej. Beräkningarna visar på betydelsen av att klimatfrågan beaktas i alla delar av en byggnads livscykel.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1. Syfte.....	1
1.2. Avgränsningar i arbetsrapporten	2
1.3. Läsanvisning.....	2
2. Bakgrund	3
2.1. Livscykelanalys (LCA)	3
2.2. Gemensamma europeiska miljöbedömningar	5
2.3. Begreppsdefinitioner.....	6
3. Metodik	9
3.1. Beskrivning av påverkanskategorier.....	9
3.2. Från kalkyldata till LCA-beräkningar: Anavitorkonceptet	10
3.3. Emissions- och CED-faktorer	12
3.4. Datainventering - Omfattning och beräkningsantaganden modul för modul	19
4. Beskrivning av Blå Jungfrun.....	22
5. Resultat.....	25
5.1. Uppströms klimatpåverkan	25
5.2. Uppströms energianvändning	27
5.3. Jämförelse mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan	27
6. Diskussion och slutsatser.....	31
6.1. Resultatdiskussion	31
6.2. Preliminär jämförelse med liknande fallstudier	33
6.3. Rekommendationer.....	35
7. Referenser	37

Lista över figurer

Figur 1: Översikt av LCA-proceduren. Pilarna indikerar i vilken ordning de olika stegen utförs. Streckade pilar indikerar möjliga iterationer. (Anpassad från Baumann and Tillman, 2004).	3
Figur 2: Överblick av byggnadens systemgränser uppdelade i informationsmoduler enligt EN 15978. Svensk översättning har gjorts i detta projekt.	5
Figur 3: Illustration av begreppen uppströms, nedströms och inbyggd så som de definierats för fas 1 av projektet.	8
Figur 4: Fördelning av energislag i Nordisk medelelmix. Medeldata för 2009-2011.	16
Figur 5: Fördelning av energislag i Nordisk residualmix. Medeldata för 2009-2011.	18
Figur 6: Kvarteret Blå Jungfrun (från Nordström och Ståhl, 2013).	22
Figur 7: VST-systemet med skalformar som fylls med betong (Skanska, u.d.).	23
Figur 8: SBox (Svenska Bostäder, 2013).	24
Figur 9: Specifik energianvändning för Blå Jungfrun enligt SVEBY, 2011-2013 (Skanska, 2014).	24
Figur 10: Bidrag från livscykel faser till total klimatpåverkan uppströms.	25
Figur 11: Bidrag från byggdelar till total klimatpåverkan uppströms.	26
Figur 12: De resurser som bidrar mest till klimatpåverkan uppströms.	26
Figur 13: Bidrag till klimatpåverkan från konstruktionsfasen (modul A5).	27
Figur 14: Fördelning av klimatpåverkan mellan uppströms och nedströms processer vid analysperiod 50 år.	28
Figur 15: Fördelning av klimatpåverkan på uppströms och nedströms processer beroende på byggnadens beräknade livslängd.	28
Figur 16: Fördelning av kumulativ energi på uppströms och nedströms processer för analysperioden 50 år.	29
Figur 17: Fördelning av kumulativ energi på uppströms och nedströms processer beroende på byggnadens beräknade livslängd. Övre bilden visar resultat i GJ och nedre bilden i kWh.	29

Lista över tabeller

Tabell 1: Lista på byggdelar BY01-BY12.	12
Tabell 2: Överblick av el- och fjärrvärmemix i de tre olika scenarierna för energianvändning i driftsfasen.	15
Tabell 3: Beräknade emissions- och CED-faktorer för el- och fjärrvärme. Notera att dessa värden inkluderar nätförluster.	15
Tabell 4: Använda värden för användning av el och fjärrvärme i driftsfasen.	21
Tabell 5: Betongdimensioner på bjälklag, bärande innerväggar och platta på mark i Blå Jungfrun jämfört med typisk nykonstruktion av flerbostadshus (Kellner, 2014; Larsson, 2014).	23
Tabell 6: Uppströms klimatpåverkan fördelat på moduler.	25
Tabell 7: Resultattabell enligt format i EN 15978. Klimatpåverkan och energianvändning vid analysperiod 50 år och energiscenariot "Nedströms, medel, exklusive hushållsel"	30
Tabell 8: Jämförelse av emissions- och CED-faktorer för betydelsefulla material i databaserna KBOB och ICE.	32
Tabell 9: Jämförelse mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan och kumulativ energi mellan fallstudien av Adalberth m.fl. (2001) och Blå Jungfrun i denna rapport.	34

1. Inledning

Livscykelanalyser (LCA) har länge använts för att bedöma byggnaders miljöpåverkan. 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). Fokus har därför främst legat på att begränsa miljöpåverkan under byggnadens användningsfas, till exempel genom reducerad energiförbrukning. Men i takt med att husen blir energisnålare och allt mer bibränsle används i elektricitetsmixen så förskjuts åtminstone byggnadens klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv från användningsfasen till produktionsfasen på grund av minskat energibehov, ökad materialanvändning, etc. Tidigare fallstudier har visat att klimatpåverkan från produktionsfasen kan stå för 50 % eller mer av byggnadens totala klimatpåverkan (se till exempel sammanställning av Brown m.fl., 2014).

1.1. Syfte

Syftet med det här projektet är att ta fram ett konkret, detaljerat exempel på omfattningen av klimatpåverkan och energianvändning kopplad till produktionsfasen för ett nyproducerat flerfamiljshus med lågenergiprofil samt att jämföra klimatpåverkan och energianvändning under produktionsfasen (uppströms) med driftsfasen (nedströms). Detta görs för att öka förståelsen för hur energianvändning och utsläpp av växthusgaser är fördelade i byggprocessen, lyfta frågan om byggmaterialens miljöpåverkan 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 södra Stockholm. En anledning till att Blå Jungfrun valdes som fallstudieobjekt var att entreprenören Skanska redan hade genomfört beräkningar av klimatpåverkan kopplat till produktionen av husen. Med ett aktuellt och illustrativt beräkningsexempel kan projektet bidra till att sprida kunskap om vilken omfattning inbyggd/uppströms energianvändning och klimatpåverkan har för ett förhållandevis typiskt svenskt nytt flerbostadshus med lågenergiprofil.

Projektet ingår som ett delprojekt i IVA:s pågående projekt "Ett energieffektivt samhälle". Projektet leds av Maria Brogren vid Sveriges Byggindustrier och finansieras av SBUF, IVA, IVL och deltagande organisationer och företag samt ett bidrag från regeringskansliet genom Socialdepartementet. I projektets styrgrupp ingår Maria Brogren, Johnny Kellner (Veidekke), Jonas Gräslund (Skanska), Johan Gerklev (Skanska), Karin Byman (ÅF) och Larissa Strömberg (NCC). I projektets referensgrupp ingår utöver medlemmarna i styrgruppen också Per Westlund (IVA, ordf.), Jan Nordling (IVA), Fredrik Winberg och Klas Partheen (Byggmaterialindustrierna), Allan Leveau (Svenska bostäder), Ola Larsson (WSP), Göran Westerfors (PEAB) samt Anna Jarnehammar (IVL). Det praktiska arbetet utförs av en arbetsgrupp bestående av Martin Erlandsson, Johanna Fredén och Ida Adolfsson (IVL), Tove Malmqvist och Carolina Liljenström (KTH) samt Gustav Larsson (Skanska).

1.2. Avgränsningar i arbetsrapporten

Detta projekt är indelat i två faser. Denna arbetsrapport presenterar arbetsmetodik och resultat från fas 1 av projektet som syftar till att utgöra underlag till ett av IVA:s och Sveriges Byggindustriers seminarier i Almedalen 2014. Seminariet syftar till att lyfta frågan om byggproduktionens klimatpåverkan och energianvändning och diskutera åtgärder för att öka insatserna för att begränsa klimatpåverkan kopplat till dessa aktiviteter.

Viktiga avgränsningar för detta syfte handlar dels om att genomföra beräkningar utifrån dagens existerande standarder som finns på området, EN 15804 och EN 15978, och praxis och dels om att inkludera de mest betydelsefulla livscykelkedena i beräkningarna. Enligt standarderna tillämpas en bokförings-LCA i detta projekt. Bokförings-LCA används för att beskriva den miljöpåverkan som direkt kan associeras till en viss produkt eller tjänst (Erlandsson m.fl., 2014). Standarderna EN 15804 och EN 15978 beskrivs närmare i avsnitt 2.2.

De livscykelkedan som inkluderas i beräkningarna är materialproduktion, transporter av material till byggplatsen, konstruktion/uppförande av huset samt energianvändning under byggnadens driftsfas. Dessa delar täcker in hela produktionsdelen ("uppströms") som är av huvudsakligt intresse för projektet, samt den mest betydelsefulla aktiviteten under driftskedet: energianvändning. För dessa aktiviteter finns utvecklad praxis för hur beräkningar skall göras. Närmare beskrivning av antaganden och beräkningar återfinns i avsnittet 3.4.

I fas 2 av projektet kan sedan övriga livscykelkedan läggas till, det vill säga underhåll, rivning och kvittblivning/återvinning av avfall, samt eventuellt beräkningar i form av konsekvens-LCA för att beskriva byggnadens miljöpåverkan under driftskedet. Konsekvens-LCA används för att studera den miljöpåverkan som uppstår vid en förändring av ett system och skulle därmed kunna användas för att diskutera frågan: "Om all nyproduktion framöver sker på samma sätt som i Blå Jungfrun, vad skulle det innebära för energisystemet i stort?". Bokförings-LCA och konsekvens-LCA motsvarar två olika systemsyner och ger därför svar på olika frågor och kompletterar på så sätt varandra (Erlandsson m.fl., 2014).

1.3. Läsanvisning

Då projektet syftar till att ta fram ett transparent, relevant beräkningsexempel på fördelning av klimatpåverkan och energianvändning uppströms och nedströms för svenska flerbostadshus med lågenergiprofil samt i mångt och mycket handlar om att kommunicera livscykeltänkande och skapa förståelse för olika metodvals betydelse för exempelvis olika procentuella fördelningar mellan uppströms och nedströms så läggs stor tonvikt i denna rapport på att beskriva metodiken i detalj för fallstudien av 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 beskrivs i kapitel 4, följt av resultat, diskussion och slutsatser i kapitel 5-6. 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.

2. Bakgrund

Beräkningarna i detta projekt utförs så långt som möjligt i riktlinje med de standarder som finns på området, EN 15978 och EN 15804. Dessa standarder följer metodiken för livscykelanalys (LCA). För att sätta standarderna och andra metodologiska val som görs 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. Syftet med projektet är att jämföra byggnadernas miljöpåverkan uppströms och nedströms. Dessa två begrepp definieras i avsnitt 2.3 och relateras där också till det 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 14040:2006). En LCA består vanligen av fyra steg som tillämpas i en iterativ process (Baumann och Tillman, 2004; ISO 14040:2006), se Figur 1.



Figur 1: Översikt av LCA-proceduren. Pilarna indikerar i vilken ordning de olika stegen utförs. Streckade pilar indikerar möjliga iterationer. (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 resursförbrukningen.
3. Miljöpåverkansbedömning. I detta steg relateras utsläpp och resursförbrukning till miljöproblem. Det vill säga, miljöbelastningar som utsläpp av koldioxid (CO₂) översätts till miljöpåverkan, till exempel klimatförändring.
4. Tolkning av resultatet. Resultatet utvärderas i förhållande till mål och omfattning 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, det vill säga den fråga som skall 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 en 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 m²", 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 (till exempel 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 som 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 sjöstadprojektet i Stockholm och vid Högskolan i Gävle/KTH utvecklades verktyget EcoEffect. 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 och 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 standardiserat sätt att utföra dylika 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 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 2. Modulerna A1 till C4 täcker den miljöpåverkan som är direkt relaterad till aktiviteter som sker inom byggnadens systemgräns. 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. Modulerna 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.

Livscykelinformation byggnad														Övrig information		
A 1-3 Produktion			A 4-5 Konstruktion		B 1-7 Drift							C 1-4 Slutskede		D Övrig miljöinfo		
A1 - Råmaterial	A2 - Transport	A3 - Tillverkning	A4 - Transport	A5 - Konstruktions-installation	B1 - Användning	B2 - Underhåll	B3 - Reparation	B4 - Utbyte	B5 - Renovering	B6 - Energianvändning	B7 - Vattenanvändning	C1 - Rivning	C2 - Transport	C3 - Avfallshantering	C4 - Sluthantering	Återanvändnings-, Återvinnings- & Materialåtervinningspotential

Figur 2: Överblick av byggnadens systemgränser uppdelade i informationsmoduler enligt EN 15978. Svensk översättning har gjorts i detta projekt.

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 driftsfas. Flera liknande studier har gjorts. Ett vanligt förekommande begrepp i dessa 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 driftsfasen. 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-standarderna 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 materialproduktion och konstruktionsaktiviteter 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 extraktion 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 föregår konstruktion av byggnaden samt själva konstruktionen, det vill säga modul A1-5. Till *nedströms* räknas de aktiviteter som sker efter det att byggnaden är färdigkonstruerad, det vill säga modulerna B och C. I den första fasen av projektet omfattar begreppet nedströms alltså endast modul B6. 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 beräknad livslängd jämfört med många andra produkter och det råder 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 modul A1-5 är ofta av högre kvalitet.

I engelskan förekommer inte begreppen uppströms och nedströms på samma sätt utan uppströms processer motsvaras ofta istället av begreppet *embodied* vilket vi alltså översätter med inbyggd. För att definiera inbyggd energi och klimatpåverkan används rekommendationer från det pågående IEA Annex 57¹ 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 skall framgå vilka moduler enligt CEN-standarden som ingår i definitionen. Två huvudsakliga rekommenderade systemgränser förs fram: 1) vagga-till-överlämning (*eng. cradle-to-handover*) (A1-5) samt vagga-till-grav (*eng. cradle to grave*) (A1-5, B2-5, C1-4) (Lützkendorf och Balouktsi, 2013).

Den inledande fasen av detta projekt inkluderar endast modulerna A1-5 samt B6. Begreppet inbyggd energianvändning och klimatpåverkan kommer därför att omfatta modulerna A1-5, vilket motsvarar systemgränsen *cradle-to-handover* enligt rekommendationerna från IEA Annex 57 (Lützkendorf och Balouktsi, 2013). I detta fall kommer även begreppen inbyggd klimatpåverkan och energianvändning att användas synonymt med begreppet uppströms enligt definitionen i detta projekt. I samtliga fall handlar det om att beräkningen skall innefatta alla processer (som specificeras i CEN-standarderna) innan byggnaden tas i drift. Förhållandet mellan begreppen uppströms, nedströms och inbyggd illustreras i Figur 3.

¹ IEA Annex 57 Evaluation of Embodied Energy and Carbon Dioxide Emissions for Building Constructions (www.annex57.org)

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

Inbyggd			Livscykelinformation byggnad											Övrig information		
Upströms			B 1-7 Drift							C 1-4 Slutskede				D		
A 1-3 Produktion			A 4-5 Konstruktion		Nedströms											Övrig miljöinfo
Råmaterial	Transport	Tillverkning	Transport	Konstruktions- installation	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Rivning	Transport	Avfallshantering	Sluthantering	Återanvändnings-, Återvinnings- & Materialåtervinnings potential
X	X	X	X	X						X						

Figur 3: Illustration av begreppen uppströms, nedströms och inbyggd så som de definierats för fas 1 av projektet.

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, det vill säga 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 emissions- och CED-faktorer 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, det vill säga A1-5 samt B6. 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 miljöbelastning är klimatpåverkan och kumulativ energianvändning. Flera metodologiska problem och val uppstår vid beräkning av klimatpåverkan och kumulativ energianvändning och det finns ännu inte några vedertagna regler för hur detta skall 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 byggandens 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 CO₂-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 CO₂ i biomassa (Lützkendorf och Balouktsi, 2013). Detta är ännu inte förknippat med en allmänt accepterad definition (Lützkendorf och Balouktsi, 2013) och det finns inte heller några riktlinjer i standarderna EN 15978 och EN 15804. Med upptagen CO₂ menas vanligen sådan CO₂ som är lagrad i ett material genom tidigare upptag från atmosfären. Till exempel så finns CO₂ lagrat i träprodukter tills de någon gång förbränns eller deponeras. Argument finns både för och emot inkludering av CO₂-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 CO₂ inte ska inkluderas, eftersom det ännu inte finns allmänt accepterade nyckeltal för detta.

En annan aspekt relevant speciellt för betongkonstruktioner är frågan om karbonatisering av betong. Betong har en förmåga att reagera kemiskt med CO₂ i luften och binda denna i betongen. I detta projekt inkluderas inte karbonatisering av betong i beräkningarna. Detta på grund av det relativt låga upptaget (Collins, 2010) samt osäkerheten i de många faktorer som påverkar hur mycket CO₂ som betongen tar upp (till exempel cementens egenskaper, temperatur, koncentration av CO₂ i atmosfären och luftfuktigheten) (Collins, 2010). Dessutom är betongkonstruktionen i detta fall inte

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

direkt exponerad till den omkringliggande atmosfären, vilket torde ge ännu lägre upptag av CO₂ än den betongbro som analyserades av Collins (2010), motsvarande ungefär 1 % av CO₂-utsläppen från tillverkning av betongen, under 100 år.

Sammanfattningsvis kommer alltså klimatpåverkan i detta projekt att mätas med indikatorn GWP₁₀₀, uttryckt i enheten kg CO₂-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).

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 primär energiproduktion 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 primär, icke-förnybar och primär energi, total redovisas.

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

3.2. Från kalkyldata till LCA-beräkningar: Anavitorkonceptet

En av anledningarna till att Blå Jungfrun valdes som fallstudie var att Skanska som utförde konstruktionen redan hade beräknat klimatpåverkan för modulerna A1-5 samt 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 emissionsfaktorer 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 Anavitor². Anavitorkonceptet utvecklades av IVL år 2007 och består i dag utav två delar: ett datorprogram, Anavitor, som ägs av ett privat företag, samt en miljödatabas 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-

² www.anavitor.se

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 emissionsdata från den specifika tillverkaren och betongkvaliteten som används så kan dessa data användas i stället. Kalkylen som Skanska har gjort innehåller kalkylposter med enheter som m², löpmetrar, 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 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 IVL:s databas (Erlandsson, 2014). Genom korsreferering länkas de unika byggvarorna i användarens kalkylsystem till miljödatabasen. När korsreferering görs finns risken att datakvaliteten blir lägre. Anavitor bedömer därför den sammanlagda datakvaliteten på korsreferenserna. På så sätt är det möjligt att göra en bedömning av dataosäkerhetens inverkan på slutresultatet och hur säkra slutsatser som kan dras (Erlandsson, 2014).

3.2.2. Uppdelning av resurser på moduler A1-5

Den klimatpåverkan som Skanska beräknade för Blå Jungfrun var inte ursprungligen uppdelad på de olika modulerna A1-5 utan på betydande bidragande poster. Det vill säga, klimatdata för en byggvara omfattade alla moduler A1-5 och det var inte känt hur stor andel som kunde kopplas till en enskild modul. För att kunna dela upp klimatdata på olika moduler och därmed öka transparensen gjordes en omskrivning av programmet.

Klimatpåverkan kan nu fås fördelad på tre olika sätt: (1) på modulerna A1-3, A4 och A5, (2) på byggdelar och (3) på betydande resurser. Fördelning på byggdelar och betydande resurser är två olika sätt att fördela den *totala* klimatpåverkan från modul A1-5. Med Anavitor har det inte varit möjligt att ytterligare dela upp klimatpåverkan från byggdelar och betydande resurser på olika moduler. Det är till exempel inte möjligt att se hur stort bidrag betong ger till den totala klimatpåverkan från transporter till byggplatsen (modul A4). Det är däremot möjligt att se vilket bidrag betong ger till den totala klimatpåverkan från modulerna A1-5.

De livscykelresurser som finns i IVL:s databas (det vill säga de material som det finns LCA-data för) är grupperade i 35 stycken varugrupper, vilka sedan har fördelats på 12 st. byggdelar (BY01-BY12), se Tabell 1. Byggdelarna BY01-07 omfattar produktion och transport av material som används i konstruktionen samt eventuellt spillmaterial. BY08, BY09 samt BY11 kan relateras direkt till konstruktion av byggnaden, det vill säga modul A5, medan BY10 är kopplad till modul A4. Det ska dock noteras att transport av spillmaterial från byggplatsen till avfallshantering är lagd på BY10. Byggdel BY11 motsvarar därmed modul A5 minus transport av spillmaterial. Att dela upp

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

byggvarorna på detta sätt innebär att byggvaror som innehåller flera olika material kan komma att delas upp på flera byggdelar.

Tabell 1: Lista på byggdelar BY01-BY12.

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

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 skall utgå från exempelvis CAD-ritningar. I detta projekt var det en förutsättning då det inte fanns en budget för att genomföra en noggrann datainventering från början. Nackdelen är emellertid att det leder till minskad transparens och att det inte går att få ut mängder av olika material så att känslighetsanalyser kan utföras, exempelvis avseende använda miljödata för olika materialgrupper. I dagsläget innehåller Anavitor dessutom enbart korsrefereringar till miljödata som beskriver klimatpåverkan. Det vill säga, de beräkningar Skanska redan hade 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).

3.3. Emissions- och CED-faktorer

I avsnitt 3.1 gavs en beskrivning av påverkanskategorierna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning som används för att kvantifiera byggnadens miljöbelastning. För att beräkna denna baserat på data om material- och bränsleförbrukning inom projektet krävs emissions- och CED-faktorer, det vill säga växthusgasutsläpp eller energianvändning per enhet, till exempel per ton eller m³ av ett visst material. I detta avsnitt beskrivs hur emissions- och CED-faktorer har tagits fram i detta projekt. I avsnitt 3.3.1 beskrivs emissions- och CED-faktorer för beräkning av uppströms klimatpåverkan och kumulativ energianvändning och i avsnitt 3.3.2 faktorer 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 (modul A1-A5)

Som tidigare nämnts har majoriteten av beräkningarna för klimatpåverkan av modul A1-A5 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 %) 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 emissionsfaktorer som har tagits fram för betong skiljer sig något från de generella data som finns i IVL Miljödatabas Bygg. Detta beror främst på andelen cement 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.

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 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 tillgänglig används istället PE International.

Då tillgänglig data inte har ansetts anpassad till den svenska marknaden har IVL tagit fram uppdaterad LCA-data. Detta gäller för exempelvis svenska cement-, stål- och trävaror. För vissa byggresurser³ 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. Metodiken som tillämpas i IVL Miljödatabas Bygg följer standarderna EN 15804 och ISO 21930. Dokumentationen följer ISO 14044. Underliggande data har viktats till ett aggregerat kvalitetsmått som kan användas för att bedöma kvalitet och 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 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. 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 CO₂-ekvivalenter. För några material finns dock endast utsläpp av CO₂ 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 CED-faktorer för el, ventilation och VA-produkter. För övriga material var utgångspunkten att utnyttja CED-faktorer från IVL:s miljödatabas. Dock finns sådana faktorer endast inlagda för ungefär hälften av resurserna i databasen. CED-faktorer har därför hämtats också från KBOB (2012). Översiktliga CED-faktorer har beräknats för modulerna A1-5 genom att utgå ifrån de resurser som bidrar mest till klimatpåverkan från modul A1-5. Dessa representerar

³ Cement, fabriksbetong, krossprodukter, naturgrus, vägbeläggningar och prefabricerad betong

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

runt 80 % 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 CO₂e-utsläpp. Därefter har ett slutgiltigt värde erhållits genom att anta att de resterande 20 % har samma CED per utsläpp av koldioxid som de 80 % mest betydande resurserna. IVL Miljödata Bygg kommer under 2014 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 mer eller mindre av fossila energibärare för elproduktionen. För de byggarvaror 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 skall spegla aktuella förhållanden och inte ha inflytande över resultaten i nämnvärd omfattning.

3.3.2. Nedströms (modul B6)

För att beräkna klimatpåverkan och kumulativ energianvändning i byggnadens driftsfas behövs emissions- och CED-faktorer för den elektricitets- och fjärrvärmemix som används. Sådana faktorer finns till exempel i databaser som Ecoinvent och på energibolagens hemsidor, men det beslutades att uppdaterade faktorer skulle tas fram till detta projekt. Nedan beskrivs hur emissions- och CED-faktorer 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, det vill säga standarden EN15804. EN 15804 är kopplad till byggproduktförordningen och hur den LCA-baserade miljövarudeklaration som anges i denna förordning vid bedömning av miljöprestanda.

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 skall 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.

- **Medel eller mix.** Med detta synsätt anses den använda köpta energin motsvara den årliga produktionsmixen inom ett geografiskt givet nätområde.
- **Produktionsspecifik energi eller residualfördelning.** Den mängd el som används av kunder som gjort ett aktivt val, till exempel Bra Miljöval, används för de kunder som köpt sådan ursprungsmärkt energi. Dessa egenskaper "reserveras" då till denna kund, vilket gör att konsumenter som inte har gjort ett aktivt val anses få den resterande energin som inte kontrakterats som en ursprungsmärkning. Kunder som inte gör ett aktivt val med ursprungsmärkt el får den rest som bli kvar i form av en residualfördelning eller 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 lågenergiprofil 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

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

att illustrera hur produktion av driftsenergi påverkar fördelningen mellan uppströms och nedströms så införs tre olika scenarier för energianvändning i driftsfasen, se Tabell 2.

Tabell 2: Överblick av el- och fjärrvärmemix i de tre olika scenarierna för energianvändning i driftsfasen.

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

Ett tänkbart alternativ hade också varit att ta fram ett scenario utifrån den faktiska situationen i Blå Jungfrun i dag (fjärrvärme frånorstadsnätet levererat av Fortum samt fastighetsel med hög andel förnybart bränsle från Telge Energi). Poängen med scenarierna här är emellertid att illustrera hur skillnader i emissions- och CED-faktorer påverkar den procentuella fördelningen mellan uppströms och nedströms. 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. Beräknade emissions- och CED-faktorer för de el- och fjärrvärmemixer som används i denna rapport finns redovisat i Tabell 3 nedan. Notera att också nätförluster ingår i dessa värden. Hur själva beräkningarna har utförts presenteras nedan.

Tabell 3: Beräknade emissions- och CED-faktorer 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
Fjärrvärme	Fjärrvärme med hög andel förnybart	30	0,12	0,54	0,66
	Storstadsnät	126	0,46	0,39	0,85
	Svensk fjärrvärmemedel	97	0,29	0,50	0,79

Elektricitet

Medelel

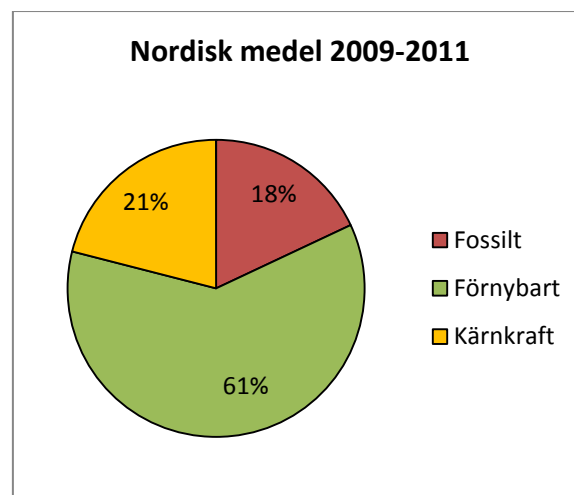
Utifrån detta perspektiv så anses den använda elen vara ett genomsnitt av den årliga produktionsmixen inom ett geografiskt område, i detta fall Norden. Data för elproduktion i Norden finns bland annat redovisad i statistik från International Energy Agency (IEA, 2014), samt the European Network of Transmission 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 cirka 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 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 fjärrvärmeverk med mera med en verkningsgrad över 60 % skall betraktas som energiproducenter och dess produkter, det vill säga fjärrvärme, skall 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 runt 10 %.

Figur 4 nedan visar fördelningen mellan fossila och förnybara bränslen samt kärnkraft i Nordisk medelelmix som används i scenario Nedströms Medel.



Figur 4: 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, dock är syftet 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. Om en ursprungsgaranti inte har

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

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 CO₂-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 var främst att skapa ett handelssystem, det finns frågetecken på hur väl systemet med ursprungsgarantier och residualmix representerar den faktiska produktionen. 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.

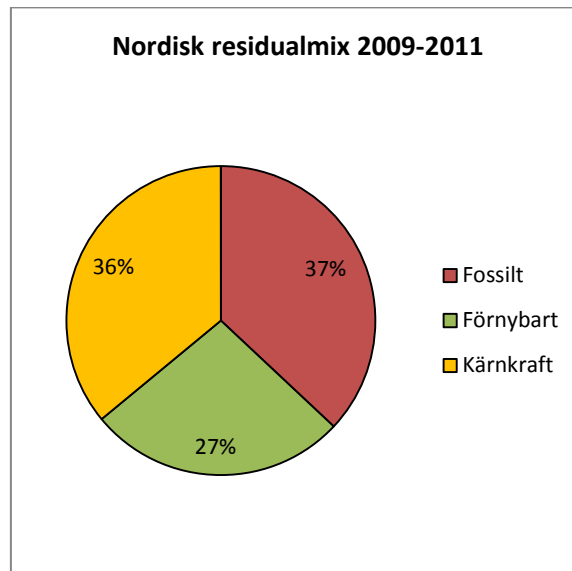
Det finns inga nationella riktlinjer för hur miljöpåverkan för de olika energikällorna, som omfattas av ursprungsgarantier, ska beräknas, i rapport (Energimarknadsinspektionen, 2011) rekommenderas dock;

”Som underlag för beräkningar av miljöpåverkan för ursprungsspecificerade energikällor bör emissionsfaktorer och värmevärden som används i handelssystemet för utsläppsrätter i enlighet med Naturvårdsverkets föreskrifter om utsläppsrätter för koldioxid (NFS2006:8) användas i kombination med det beräkningsverktyg avseende koldioxidutsläpp för olika energislag som utarbetats i Jernkontorets Energihandbok 52 utifrån Naturvårdsverkets data. Detta verktyg är lätthanterligt och tydligt och rekommenderas av inspektionen för beräkning av koldioxidutsläpp för specificerade energislag.”

Jernkontorets Energihandboks (Jernkontoret, 2012) beräkningar resulterar i direkta utsläpp, inget livscykelperspektiv fås med dessa beräkningar. För att beräkna den nordiska residualmixen för el med ett livscykelperspektiv så har data om energislag i mixen från Energimarknadsinspektionen använts (Energimarknadsinspektionen, 2014b). Dessa data har beräknats av Grexel enligt metodiken RE-DISS (2012). De redovisade energislagen är uppdelade i tre kategorier fossilt, förnybart och kärnkraft. 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).

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

Figur 5 nedan visar fördelningen mellan fossila och förnybara bränslen och kärnkraft i Nordisk residualelmix 2009-2011.



Figur 5: Fördelning av energislag i Nordisk residualelmix. Medeldata för 2009-2011.

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 Fjärrvärme (2014).

I ett kraftvärmeverk produceras både el och värme samtidigt vilket finns i ca 2/3 av Sveriges avfallsförbränningsanläggningar. Enligt avfallsdirektivet skall samtliga fjärrvärmeanläggningar i Sverige klassas som energiåtervinning. 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. Pollutant Pay 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 energimässigt 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 fjärrvärmenät har valts ut i projektet, dessa är ett "**Storstadsnät**" med många olika leverantörer (baserad 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 belägget i

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

Stockholm och därför valdes Stockholmsnätet som underlag till "Storstadsnätet". LCA-beräkningarna är baserade på underlagsdata som utgör medelvärden för fjärrvärmproduktionen 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. Allokeringmetoden 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 förnybara 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. Produktion av material (modul A1-3)

Modulerna A1-3 ska enligt EN 15978 inkludera extraktion 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.

När det gäller klimatpåverkan har den mesta indata fått i form av CO₂-ekvivalenter för materialproduktion, då Skanska redan beräknat detta (se avsnitt 3.2). Det är därför inte känt vilka materialmängder de beräknade utsläppen är baserade på. Indata om mängder material baseras alltså på Skanskas kalkyl och räknas i programvaran Anavitor direkt om till klimatpåverkan. I Skanskas beräkningar var data om el-, VA- och ventilationsprodukter hanterat alltför schablonmässigt. I

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

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 (se kapitel 4), 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 konstruktionsplatsen, samt transport av konstruktionsutrustning såsom 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 endast transport av material och produkter från tillverkning till byggarbetsplatsen och inte transporter av konstruktionsutrustning samt materialförluster under transport. Detta på grund av de data som finns tillgängliga och på grund av begränsningarna i programvaran Anavitor. Produktion och transporter av spillmaterial ligger istället under modul A5. Arbetsresor till och från byggarbetsplatsen ingår ej i beräkningarna enligt standarden. Klimatpåverkan från transporter fås av Skanska i form av CO₂-ekvivalenter. Deras beräkningar är baserade på transportavstånd och antaganden om typ av bränsle och bränsleförbrukning per tonkm.

3.4.3. Konstruktion av byggnaden (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 byggplatsen, tillförsel av värme, kyla, ventilation etc. under konstruktionsprocessen, installation av produkter, vattenanvändning för att kyla maskiner och städa, transport och behandling av genererat avfall.

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 inkluderar 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 lite 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. För dieselanvändning finns inte mängduppgift tillgänglig på grund av Anavitors uppbyggnad. I modul A5 för Blå Jungfrun ingår också produktion och borttransport av det material som blir till spill på byggplatsen, se avsnitt 3.2.

3.4.4. Energianvändning i byggnadens driftsfas (modul B6)

Denna modul ska inkludera, enligt EN15978, den energi som används för uppvärmning, varmvatten, luftkonditionering, ventilation, belysning och energi som används för hjälpsystem som pumpar och kontroll- och automatisering. Övrig energianvändning som behövs för teknisk och funktionell prestanda av byggnaden, såsom hissar, säkerhets- och kommunikationssystem etc., ska inkluderas men rapporteras separat från övrig energianvändning. Standarden fastslår ej att hushållsel måste ingå men att det tydligt skall framgå om hushållsel har inkluderats.

Till denna modul har inte klimatpåverkan beräknats av Skanska utan det har gjorts inom detta projekt. 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 $30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år använts enligt SVEBY's rekommendationer. De värden som har använts för beräkningarna återfinns i Tabell 4. Dessa värden multipliceras med längden på analysperioden för att få en total energianvändning för byggnadens driftsfas. Inga antaganden om förändrad energianvändning under byggnadens driftsfas läggs in vilket är beräkningspraxis men något som inte styrs av standarden.

Tabell 4: Använda värden för användning av el och fjärrvärme i driftsfasen.

El och fjärrvärme	$\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år
Fastighetsel	8
Fjärrvärme	17
Varmvatten	25
Elvärme	4
Hushållsel	30
Summa	54

4. Beskrivning av Blå Jungfrun

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 4 stycken lamellhus med totalt 97 lägenheter om 2-5 rum och kök. Den totala boarean är 8 173 m² ($A_{temp} = 11\,003\text{ m}^2$). 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 6 visar en bild på Blå Jungfrun.



Figur 6: Kvarteret Blå Jungfrun (från Nordström och Ståhl, 2013).

För att få till en tät konstruktion och därmed god energieffektivitet är husens stommar byggda enligt VST-systemet, vilket är en metod för att bygga platsgjutna väggar. Detta innebär att prefabricerade formelement (VST-skivor) lyfts på plats och sedan gjuts igen med betong. Skalformarna består av två stycken 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 7 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 7: VST-systemet med skalformar som fylls med betong (Skanska, u.d.).

Huruvida Blå Jungfrun kan ses som representativt för dagens lågenergibyggnad med betongstomme har diskuterats i projektets styr- respektive referensgrupp. 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. Tabell 5 nedan visar Blå Jungfruns betongdimensioner på bjälklag, bärande innerväggar och platta på mark, jämfört med typisk nykonstruktion av flerfamiljshus. Tabellen klargör att det inte är några stora skillnader och man kan konstatera att Blå Jungfrun utgör ett bra exempel på hur man kan bygga idag för att med en betongkonstruktion uppnå ett lågenergikoncept. Det skall emellertid tilläggas att Blå Jungfrun inte har några garage i källare vilket är vanligt i dagens nybyggnad.

Tabell 5: Betongdimensioner på bjälklag, bärande innerväggar och platta på mark i Blå Jungfrun jämfört med typisk nykonstruktion av flerfamiljshus (Kellner, 2014; Larsson, 2014).

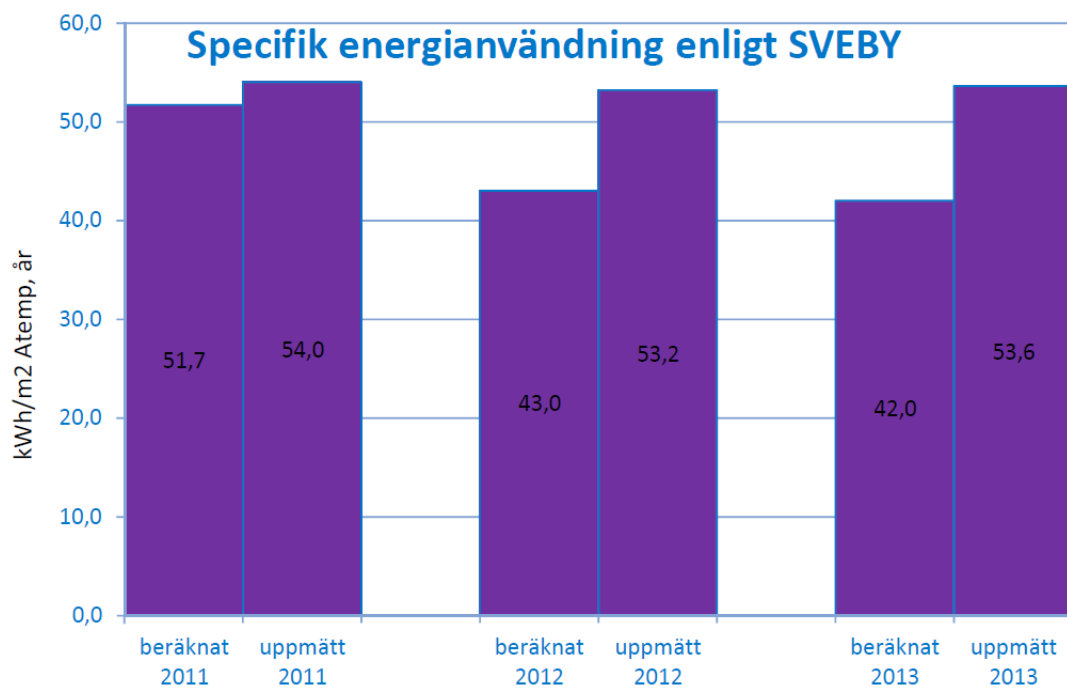
Byggdela	Blå Jungfrun	Typisk nykonstruktion flerfamiljshus
Bjälklag	300mm	250-300 mm
Bärande innerväggar	200mm + 2x24mm cementbunden spånskiva	180-200 mm
Platta på mark	160-200mm	200 mm

Värme tillförs husen främst via ventilationen som är av FTX-typ, i detta fall en roterande värmeväxlare. Tilluft tas in via taket och leds genom en värmeväxlare där den värms till drygt 20°C med hjälp av värmen i frånluften som ventileras ut från kök och badrum. I sov- och vardagsrum samt badrum finns små värmeelement som kan användas då värmen i tilluften inte räcker till för att värma bostaden. Fjärrvärme används för att värma vatten och allmänna utrymmen, samt tilluften i värmeväxlaren vid behov. De boende kan följa sin energianvändning med hjälp av en SBox som finns i varje lägenhet, se Figur 8. Användning av varm- och kallvatten, hushållsel och komplementvärme mäts timvis och debiteras hushållen individuellt.



Figur 8: SBox (Svenska Bostäder, 2013).

Fastigheternas energibehov följs upp i detalj 2011-2015. Driftenergin för hela fastigheten sammanställs varje månad och stäms av mot beräknade värden. En jämförelse över beräknad och uppmätt energianvändning 2011-2013 visas i Figur 9.



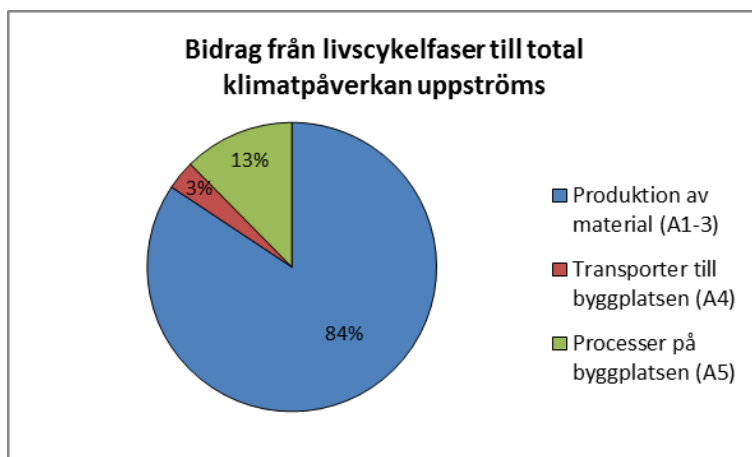
Figur 9: Specifik energianvändning för Blå Jungfrun enligt SVEBY, 2011-2013 (Skanska, 2014).

5. Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av studien. I avsnitt 5.1 beskrivs uppströms klimatpåverkan fördelat på modulerna A1-3, A4 och A5, samt fördelat på byggdelar och betydande resurser. Eftersom kumulativ energianvändning har beräknats mer schablonmässigt så ges endast en kortfattad beskrivning av detta resultat i avsnitt 5.2. I avsnitt 5.3 och 5.4 görs en jämförelse mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan respektive kumulativ energianvändning.

5.1 Uppströms klimatpåverkan

Klimatpåverkan uppströms orsakas främst av materialproduktionen, det vill säga modul A1-3. Materialproduktionen står för hela 84 % av klimatpåverkan uppströms, medan själva konstruktionen och transportererna till byggplatsen ger ett relativt litet bidrag, se Figur 10.



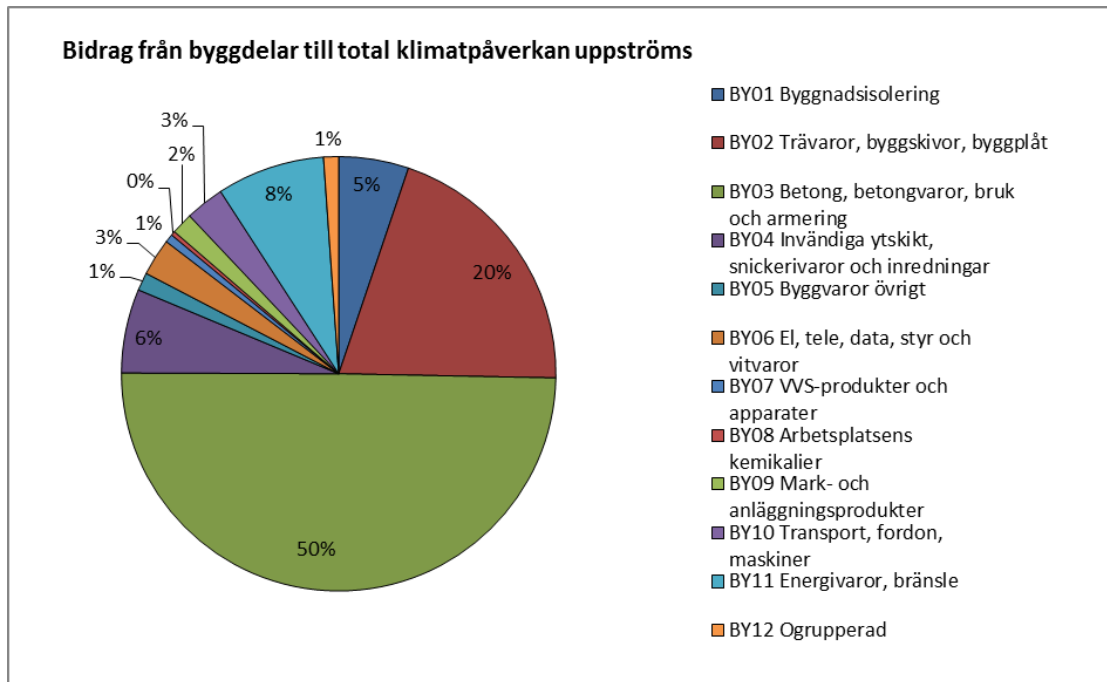
Figur 10: Bidrag från livscyklifaser till total klimatpåverkan uppströms.

Total klimatpåverkan och klimatpåverkan fördelat på moduler presenteras också för hela Blå Jungfrun och per $m^2 A_{temp}$ i Tabell 6.

Tabell 6: Uppströms klimatpåverkan fördelat på moduler.

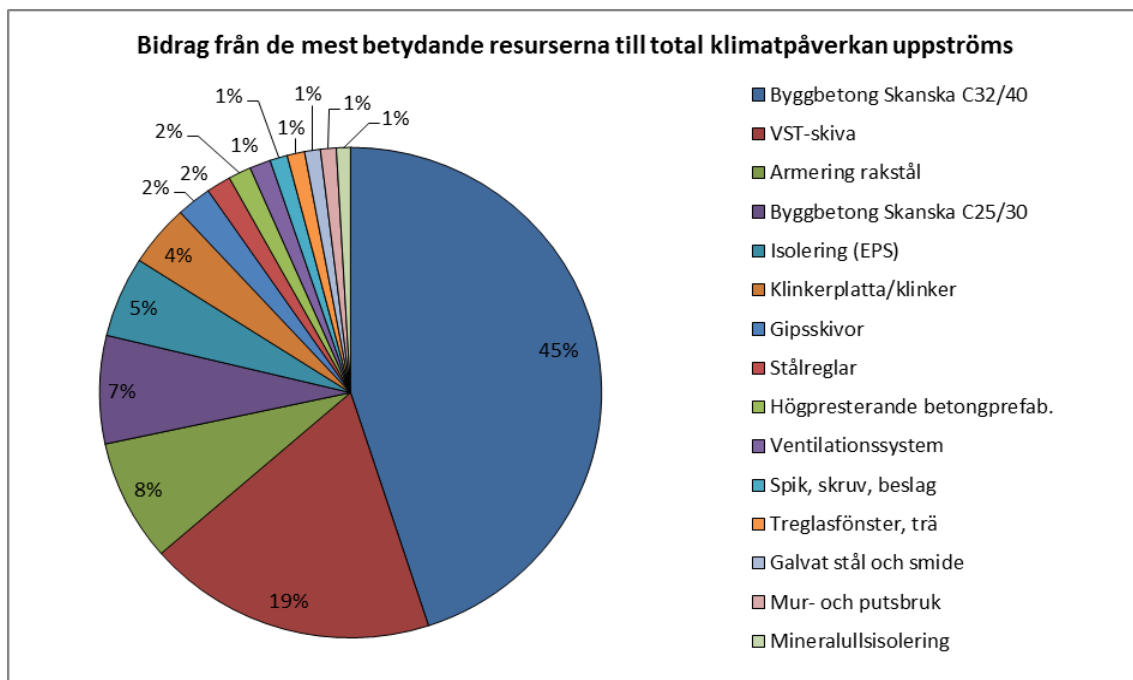
Modul	Klimatpåverkan (kg CO ₂ -ekv.)	Klimatpåverkan (kg CO ₂ -ekv./m ² A _{temp})
Produktion av material (A1-3)	3 258 590	296
Transporter till byggplatsen (A4)	126 687	12
Processer på byggplatsen (A5)	478 418	43
TOTAL A1-5	3 863 695	351

Vilka byggdelar och processer som bidrar mest till klimatpåverkan uppströms illustreras i Figur 11. Notera att figuren visar bidraget till total klimatpåverkan från alla moduler A1-5, 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 anläggningsprodukter samt transport, fordon och maskiner ger inte några större bidrag till klimatpåverkan.



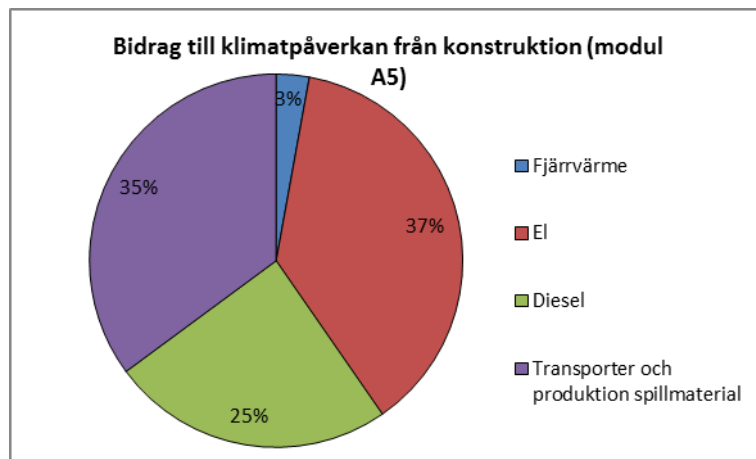
Figur 11: Bidrag från byggdelar till total klimatpåverkan uppströms.

En uppdelning av 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 12. Byggbetong står för knappt 50 % av klimatpåverkan. Andra betydande resurser är VST-skivan (som innehåller cement), armering, isolering och klinkerplattor. Övriga resurser, ett par tusen komponenter, står för resterande 12 % av klimatpåverkan uppströms.



Figur 12: De resurser som bidrar mest till klimatpåverkan uppströms.

När det gäller konstruktionsfasen är det elanvändning och produktion och transport av spillmaterial som ger det största bidraget till klimatpåverkan, se Figur 13. Som beskrivits tidigare så har all påverkan relaterad till produktion av spillmaterial allokerats till modul A5. 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, samt från byggplats till avfallshantering. Diesel till de maskiner som används på byggplatsen står för en fjärdedel av klimatpåverkan från modul A5, medan fjärrvärmeanvändningen ger ett relativt litet bidrag till klimatpåverkan.



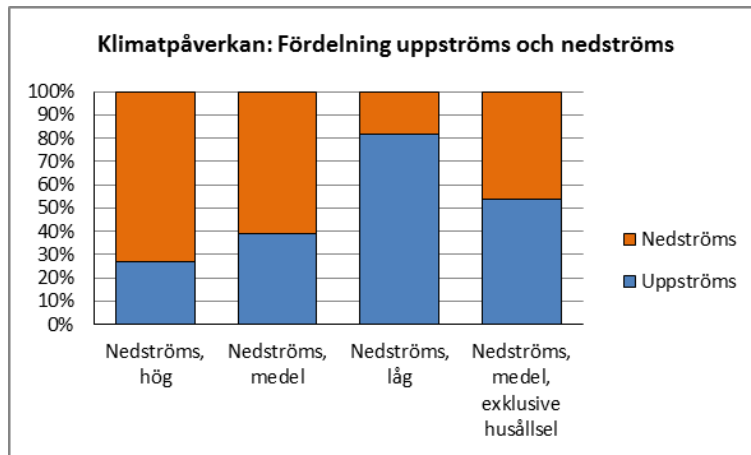
Figur 13: Bidrag till klimatpåverkan från konstruktionsfasen (modul A5).

5.2 Upströms energianvändning

Kumulativ energianvändning uppströms har som sagts beräknats 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. Uppströms energianvändning för Blå Jungfrun uppgår till i storleksordningen $3,9 \text{ GJ/m}^2 A_{\text{temp}}$ ($1080 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$) eller 42 800 GJ (11 890 MWh) i absoluta tal.

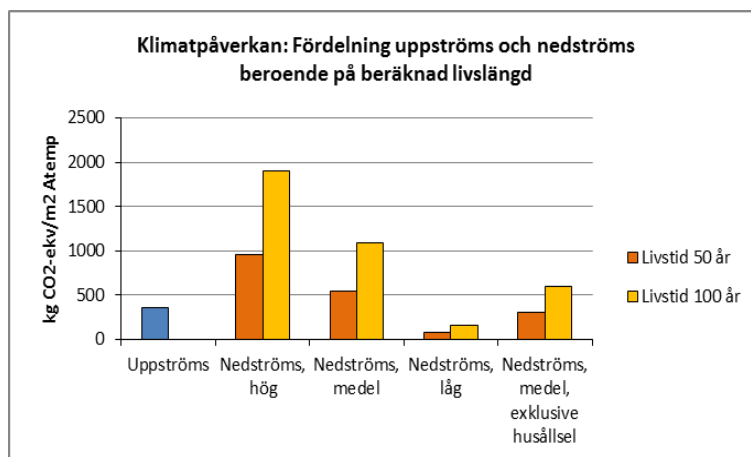
5.3 Jämförelse mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan

Resultat från studien visar att uppströmsaktiviteter, det vill säga materialproduktion, transport och konstruktion av byggnaderna, för 27-82 % av klimatpåverkan, beroende på val av el- och fjärrvärmemix i driftsfasen då analysperioden är 50 år. Detta illustreras i Figur 14. Vilka energislag som ingår i de olika scenarierna för nedströms energianvändning finns beskrivet i avsnitt 3.3.2. Om hushållsel exkluderas från driftenergin varierar uppströms klimatpåverkan mellan 43-84 %.



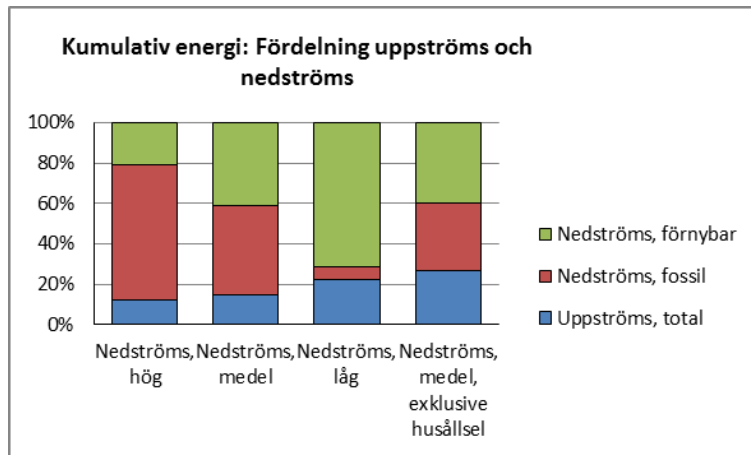
Figur 14: Fördelning av klimatpåverkan mellan uppströms och nedströms processer vid analysperiod 50 år.

Med en analysperiod på 100 år har uppströmsaktiviteterna ett lägre bidrag till total klimatpåverkan. Figur 15 nedan visar hur fördelningen mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan förändras beroende på analysperiodens längd och val av energislag i driftsfasen.



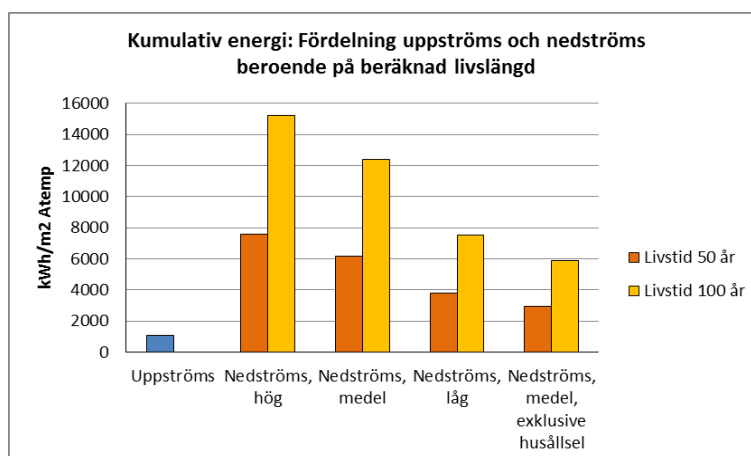
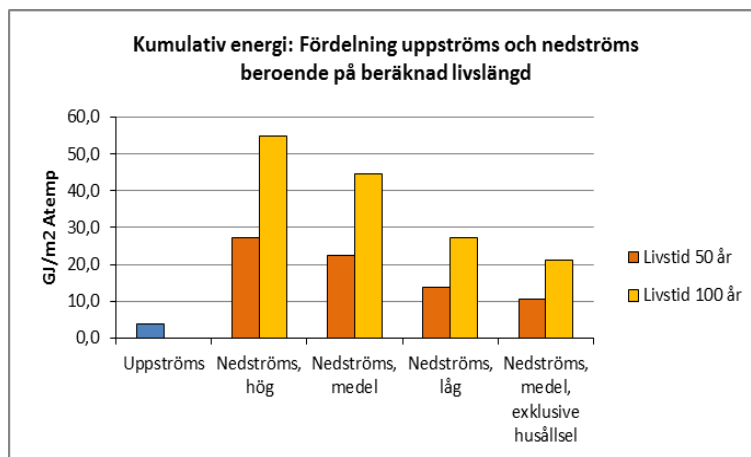
Figur 15: Fördelning av klimatpåverkan på uppströms och nedströms processer beroende på byggnadens beräknade livslängd.

Bidraget från uppströmsaktiviteter till den kumulativa energianvändningen är procentuellt sätt lägre än till klimatpåverkan, 12-22 % av total kumulativ energianvändning beroende på val av el- och fjärrvärmemix i driftsfasen då analysperioden är 50 år och hushållsel inkluderas, se Figur 16. Om hushållselen exkluderas står uppströms istället för 24-34 % av den kumulativa energianvändningen beroende på val av driftenergiscenario.



Figur 16: Fördelning av kumulativ energi på uppströms och nedströms processer för analysperioden 50 år.

Med en analysperiod på 100 år har uppströmsaktiviteterna ett lägre bidrag till total kumulativ energianvändning. Figur 17 nedan visar hur fördelningen mellan uppströms och nedströms kumulativ energianvändning förändras beroende på analysperiodens längd och val av energilag i driftsfasen.



Figur 17: Fördelning av kumulativ energi på uppströms och nedströms processer beroende på byggnadens beräknade livslängd. Övre bilden visar resultat i GJ och nedre bilden i kWh.

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

Slutligen redovisas resultatet nedan enligt den resultattabell som ska användas enligt CEN-standarderna. Notera att tabellen såsom den presenteras i EN 15978 inkluderar alla moduler A-D, men i Tabell 7 endast de moduler som ingår i beräkningarna.

Tabell 7: Resultattabell enligt format i EN 15798. Klimatpåverkan och energianvändning vid analysperiod 50 år och energiscenario "Nedströms, medel, exklusive hushållsel".

Indikator	Enhet	Modul A1-5		Modul B6 Användning
		Produktion (A1-3)	Konstruktion (A4-5)	
Global uppvärmningspotential	kg CO ₂ -ekv./m ² A _{temp}	296	55	301
Energi, totalt förnybar och icke-förnybar	GJ/m ² A _{temp}	4		21
	kWh/ m ² A _{temp}	1 080		5 830

6. Diskussion och slutsatser

Följande kapitel innehåller diskussion kring resultatet från studien så här långt och rekommendationer inför vidare arbete. I avsnitt 6.1 diskuteras under vilka förhållanden som resultatet från studien är giltigt och vilka metodval som har påverkat resultatet. I avsnitt 6.2 jämförs resultatet med resultat från andra studier. Sist, i avsnitt 6.3, ges rekommendationer kring genomförande av LCA och andra miljöbedömningar i byggsektorn.

6.1. Resultatdiskussion

Resultatet från studien visar att produktionsfasens procentuella bidrag till klimatpåverkan/kumulativ energianvändning till stor del beror av antagande om el- och fjärrvärmemix i driftsfasen. I det fall då el- och fjärrvärmemixen antas innehålla en hög andel förnybart så står uppströmsaktiviteterna för en större andel av klimatpåverkan än nedströms energianvändning även vid en beräknad livslängd på 100 år. För kumulativ energianvändning däremot blir resultatet annorlunda; driftsfasen har störst påverkan oberoende av vilken el- och fjärrvärmemix som används och beror i större utsträckning på omfattningen av elanvändningen i driftsfasen. Resultatet visar också på produktionens betydelse för klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Konstruktions- och transportfaserna har ett relativt lågt bidrag till klimatpåverkan i jämförelse.

Flera förenklingar och antaganden har gjorts i studien och det är därför relevant att diskutera under vilka förhållanden som dessa resultat är giltiga. I denna studie har det antagits att samma el- och fjärrvärmemix används under hela livslängden. Sannolikt är att energiproduktionen blir mindre klimatpåverkande i framtiden. Detta kommer visserligen också att påverka materialproduktionens klimatpåverkan, men i det här fallet speglar ju modul A1-5 dagens förhållande. Troligt är därför att den initiala konstruktionen (modul A1-5) har en större betydelse under byggnadens livscykel än vad som återspeglas i resultatet från den här studien. Det ska även noteras att flera delar av livscykeln har uteslutits från den här inledande studien. Den inbyggda klimatpåverkan/energianvändningen hade varit något större om också underhåll, renovering och rivning hade inkluderats. Uppströms klimatpåverkan/kumulativ energianvändning hade dock inte påverkats då underhåll, renovering och rivning är moduler som ingår nedströms, enligt definition i avsnitt 2.3.1.

Även val av emissions- och CED-faktorer kan ha en stor inverkan på resultatet. I litteratur och databaser uppvisas stor variation mellan emissions- och CED-faktorer för energi- och materialproduktion och val av faktorer skulle därför kunna ha en stor påverkan på resultatet från fallstudien. Inom detta projekt togs nya emissions- och CED-faktorer fram för driftsfasens olika energiscenarion. Dessa ligger något högre än generellt använda data inom bokförings-LCA och därmed också data från tidigare studier. Detta gör att klimatpåverkan från nedströmsfasen är högre än den varit om äldre data använts. Detta ändrar dock inte rangordningen mellan olika scenarier.

När det gäller materialproduktionen är det särskilt relevant att jämföra emissions- och CED-faktorer för de mest betydande resurserna: betong, armering, cellplast (EPS) och VST-skivan. De emissionsfaktorer 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. Däremot har generisk data använts för CED. Tabell 8 nedan visar variationen i emissions- och CED-faktorer för betong, armering, EPS och VST-skiva (cementfiberskiva) mellan den schweiziska databasen KBOB och den brittiska databasen ICE. Skillnader kan bero på geografisk variation i tillverkningsteknik, tidpunkt för datainsamling, etc.

Tabell 8: Jämförelse av emissions- och CED-faktorer för betydelsefulla material i databaserna KBOB och ICE.

	Klimatpåverkan (kg CO ₂ e/kg)		Primärenergi (MJ/kg)	
	KBOB	ICE	KBOB	ICE
Betong	0,07–0,11	0,10–0,13	0,52–0,61	0,70–1,00
Armering	0,71	0,72–1,66 (olika typer av stål)	14,00	13,10–25,10 (olika typer av stål)
EPS	4,21	3,29	106,00	88,60
VST-skiva (cementfiberskiva)	1,10	1,09	14,20	10,40

Hong m.fl. (2013) analyserade påverkan av val av CED-faktorer i sin 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 CED-faktorer. Detta resulterade i att materialproduktionen stod för mellan 19 och 48 % av den kumulativa energianvändningen över en tänkt livscykel på 50 år. Författarna plockade faktorer från litteratur publicerad i olika länder från 90-talet och framåt. Exemplet visar därmed på vikten av att välja faktorer från en relevant, geografiskt representativ källa.

Klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv av kvarteret Blå Jungfrun bedöms vara representativt för dagens flerbostadsproduktion i betong med lågenergiprofil. Byggsystemet (VST) är visserligen lite speciellt men de betongmängder det innehåller motsvarar väl andra vanligare byggsystem. Eftersom en nyckelstrategi vid lågenergibyggnad är att skapa täta byggnadsskal krävs 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 som har goda förutsättningar att klara högt ställda energikrav. Uppströms klimatpåverkan domineras av materialproduktionen och då byggnaden domineras av betong, i synnerhet av betongproduktionen. Förbättrade produktionsmetoder för betong som innebär lägre utsläpp av växthusgaser är därmed en mycket viktig åtgärd framöver. 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 inga garage under huset vilket är relativt vanligt i dagens nybyggnad. En snabb överslagsberäkning visade att om garage hade funnits skulle produktion av tillkommande betong stå för i storleksordningen 20 kg CO₂/m² A_{temp} vilket inte hade ändrat studiens slutsatser särskilt mycket.

När det gäller uppströms energianvändning har inte olika processers bidrag kunnat studeras närmare så här långt i projektet. Beräkningen har gjorts schablonmässigt men siffran 3,9 GJ/m²A_{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/m². 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.

6.2. Preliminär jämförelse med liknande fallstudier

Flera andra liknande studier har gjorts tidigare, både för passivhus och konventionella byggnader. Resultat från dessa tidigare studier varierar en del och det är också svårt att jämföra dessa studier med varandra och denna studie eftersom systemgränser och beräknad livslängd varierar. Nedan refereras ett antal tidigare studier, både enskilda fallstudier och litteratursammanställningar, vilket åtminstone kan ge 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 driftsfasen står för 85 % av en byggnads klimatpåverkan och energianvändning ur ett livscykelperspektiv. Detta antagande kommer ursprungligen från Adalberth m.fl. (2001). Nedan följer därför en jämförelse av resultat från denna studie 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 driftsfasen ligger mellan 100 och 150 kWh/m² 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. Betonghuset i Malmö har lägst total klimatpåverkan och kumulativ energianvändning. För kumulativ energianvändning ligger resultat för Blå Jungfrun på ungefär samma procentfördelning som i studien av Adalberth m.fl. (2001) – ca 10-20 % för uppströms beroende på energiscenariot. För klimatpåverkan ligger Blå Jungfrun på en högre andel uppströms, som lägst 25 %.

Tabell 9 nedan ger en överblick av uppströms och nedströms klimatpåverkan och kumulativ energianvändning för studien av Adalberth m.fl. (2001) och denna studie för Blå Jungfrun. Generellt sett har Blå Jungfrun en högre klimatpåverkan uppströms och en lägre klimatpåverkan nedströms, medan den kumulativa energin för Blå Jungfrun ligger inom det intervall som presenteras av Adalberth m.fl. (2001). Vid jämförelse av resultat mellan Adalberth m.fl. (2001) och denna studie måste det dock noteras att det inte är samma area som används i den funktionella enheten. Adalberth m.fl. (2001) använder referensarean "m² användbar golvyta", vilket inkluderar golvytan i lägenheter, trappor, källare och vind, medan A_{temp} används i studien av Blå Jungfrun. Det är eventuellt inte så stora skillnader men är tänkbart att den användbara golvytan som Adalberth m.fl. (2001) refererar till inkluderar några utrymmen som inte skulle inkluderas i A_{temp} vilket i så fall skulle ge något lägre siffror för klimatpåverkan och energianvändning per kvadratmeter.

Tabell 9: Jämförelse mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan och kumulativ energi mellan fallstudien av Adalberth m.fl. (2001) och Blå Jungfrun i denna rapport.

	Adalberth m.fl. (2001)	Blå Jungfrun
Uppströms, klimatpåverkan (kg CO ₂ -ekv./m ²)	200–280	350
Uppströms, kumulativ energi (GJ/m ²)	3–5	3,9
Nedströms, klimatpåverkan (kg CO ₂ -ekv./m ²)	980–1 370	80–950
Nedströms, kumulativ energi (GJ/m ²)	20–30	14–27

Det är 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 att Adalberth m.fl. (2001) grundar energianvändningen nedströms på beräkningar utförda med programmet Enorm, medan uppmätta värden används för Blå Jungfrun. Något "grövre" värden har också använts för uppströms materialanvändning än för Blå Jungfrun då ritningar utgör underlagsmaterialet. Adalberth m.fl. (2001) använder också en annan elektricitetsmix i användningsfasen, elmix från OECD-länderna i Europa (56 % fossilt och 40 % kärnkraft). I övrigt används svensk medelfjärrvärme i driftsfasen. Även analysperiodens längd är den samma i båda studierna. Adalberth m.fl. (2001) gjorde en känslighetsanalys där verklig istället för beräknad energianvändning ansattes i driftsfasen. Driftsfasens andel ökar då något, men gör ingen större skillnad. Adalberth m.fl. (2001) gjorde även en känslighetsanalys där svensk elektricitetsmix används i driftsfasen. Detta påverkar inte den kumulativa energianvändningen nämnvärt, men leder däremot till en stor minskning av klimatpåverkan.

En annan svensk studie gjordes av Thormark (2002) som genomförde en LCA av ett passivhus. Thormark (2002) drar slutsatsen att den inbyggda energin står för en stor andel, 40 %, av den totala energin under en analysperiod på 50 år. Detta inkluderar konstruktionsmaterial, spill, transport till byggplatsen, underhåll samt transport av rivningsmaterial. Dock bidrar underhåll och rivningsmaterial endast till en liten del av totalenergin och då dessa utesluts påverkas inte den procentuella fördelningen mellan uppströms och nedströms nämnvärt. Fallstudiehuset har emellertid enbart köpt el på 28 kWh/m² samt inkluderar solpaneler, vilket kan vara orsaken till att uppströmsandelen ligger högre än för Blå Jungfrun och husen i Adalberth m.fl. (2001). CED-faktorer hämtades från litteraturen och sägs representera produktion i Sverige och Danmark runt 1995. Det har antagits att all energi i driftsfasen produceras i ett kraft- och värmeverk (50 % elektricitet och 50 % värme).

Brown m.fl. (2014) visar en sammanställning av fallstudier genomförda för lågenergibyggnader under åren 2009 till 2012. Av de 8 studier som inkluderar energianvändning i driftsfasen visar 6 på en dominans för driftsfasens 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/uppströms 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 konventionella och lågenergibyggnader. Den totala årliga primärenergianvändningen för lågenergihusen varierar mellan 20 och 220 kWh/m² (0,07–0,79 GJ/m²) medan konventionella byggnader uppvisar en

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

energianvändning på mellan 100-580 kWh/m² (0,36–2,09 GJ/m²) och år. I detta projekt varierar den totala energianvändningen mellan 0,35 och 0,63 GJ/m² A_{temp} och år (97 och 175 kWh/m² 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 driftsfasen, 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 primära energin och Karimpour m.fl. (2014) menar att den inbyggda energin står för ca 25 % av energianvändningen i milda klimat, men kommer vara lägre i kalla klimat.

Dahlstrøm m.fl. (2012) gjorde en livscykelanalys för ett enfamiljshus byggt antingen som konventionellt hus eller passivhus. Resultatet visar att driftsenergin står för det största bidraget till både klimatpåverkan och den kumulativa energianvändningen. Konstruktion av byggnaden står för ca 30 % av total klimatpåverkan och ca 10-20 % av den kumulativa energianvändningen, beroende på val av värmeförsörjningssystem. Den här studien gjordes för ett trähus med en beräknad livslängd på 50 år. Generisk data från Ecoinvent 2.0 användes och elektricitetsmix Nordel ansattes för driftsfasen.

Generellt sett stämmer alltså resultatet från studien av Blå Jungfrun väl överens med resultat från tidigare publicerade studier. Dessa studier har utförts för både konventionella och lågenergibyggnader i flera olika länder och med olika metodologiska val. 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 driftsfasen 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 emissionsfaktorer för att beräkna klimatpåverkan från materialproduktion och högre materialintensitet i Blå Jungfrun.

6.3. Rekommendationer

Här följer ett antal rekommendationer baserat på projektets fas 1. I den andra fasen kommer rekommendationer utvecklas närmare avseende entreprenörernas möjligheter att bidra till lägre klimatpåverkan för uppströmsdelen.

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 skall redovisas enligt standardens modultabell (se Tabell 7).

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

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

Studien visar i synnerhet på den ökade betydelsen av uppströms klimatpåverkan i förhållande till driftens energianvändning nedströms. Dagens byggregler omfattar inga regler eller incitament som styr mot låg miljöpåverkan och låg resursanvändning i byggproduktionen. 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 men Miljöbyggnad har allt mer 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.

Än så länge saknas tillräckligt med underlag för att kunna föreslå jämförelsetal i form av till exempel kg CO₂-ekv./m² eller person för inbyggd klimatpåverkan och för olika typer av byggnader. 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.

Idag genomförs ibland så kallade klimatdeklarationer av färdiga projekt (främst med hjälp av Anavitor). 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 skall fokusera på att minimera uppströms miljöpåverkan utan också försöka göra goda val som minimerar nedströms påverkan avseende driftenergi och framtida underhålls/utbytes/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 nybyggnad 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 emissionsdatabaser eller databaser med EPD: er (Environmental Product Declaration) för att göra det möjligt.

7. 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, s. 46-56.

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, s. 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), s. 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), s. 1589-1597.

Energimarknadsinspektionen (2011). *Ursprungsmärkning av el. El 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]

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]

Envirodec (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.

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

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

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, s. 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, s. 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, s. 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).

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

Projekt: Energianvändning och klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus innan driftsättning jämfört med driftsfasen

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 CO₂ Emissions. Discussion Report – 09 September 2013, version 1.1.*

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

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, s. 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, s. 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, s. 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, s. 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), s. 429-435.

