



Nr B 2365
Juni 2019

Vägledning och råd hur olika aktörer kan bidra till klimatförbättrade byggnader

inklusive specifika aspekter för betong

Martin Erlandsson



I samarbete med Cementsa, Svensk betong, RISE, ELU Konsult,
Abetong, Thomas Betong

Författare: Martin Erlandsson, IVL Svenska Miljöinstitutet

Medel från: Cementa AB, Stiftelsen IVL projekt med projekt "BIM och miljöanpassat produktval" (4C:93/17). Projektet bidrar till Formas program Smart Built Environment Livscykelperspektiv, projekt "Livscykelperspektiv del 2.7: Anpassning av branschens LCA-verktyg till SBE: digitalisering – inklusive testpiloter och utvärdering" (Dnr 2016-02043).

Fotograf: —

Rapportnummer B 2365

ISBN 978-91-7883-110-4

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2019**

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

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

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

Förord

Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning har till ändamål att främja de långsiktiga förutsättningarna för miljöforskning med särskild inriktning på tillämpade frågeställningar och ett tvärvetenskapligt och systemorienterat angreppssätt med tyngdpunkt på svenska förhållanden. Stiftelsen ansvarar för den samfinansierade forskningen som bedrivs på IVL Svenska Miljöinstitutet med ett årligt utfall på 80 miljoner kronor (år 2015). Forskningen samfinansieras via medel som ställs till förfogande av staten via Formas och Naturvårdsverket och näringslivet. I detta projektet har medel erhållits från Cementsa.

Denna rapport utgör avrapporteringen från Stiftelseprojektet "BIM och miljöanpassat produktval" (Nr 4C:03/17), tillsammans med rapporten "Klimatförbättrade betongkonstruktioner: Användarstöd till BM" (Erlandsson 2019a). Inom ramen för projektet har även nya LCA-data för betong lagts in i Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg. Utöver ovanstående IVL-rapporter har Svensk Betong tagit fram rapporten "Klimatförbättrad betong" (Svensk Betong 2019). Dessa rapporter utgör sammantaget ett bidrag till projektet "Livscykelperspektiv del 2.7: Anpassning av branschens LCA-verktyg till SBE: digitalisering – inklusive testpiloter och utvärdering" (Formas projektnummer 2016-02043), som ingår i Smart Built Environment, fokusområdet Livscykelperspektiv.

Projektledare och utförare för projektet har varit Martin Erlandsson. Till stöd för projektets genomförande etablerades en dialoggrupp som har diskuterat de frågeställningar som hanterats av projektet. Denna dialoggrupp består av: Ronny Andersson (Cementsa), Kajsa Byfors (Svensk betong, Eva-Lotta Kurkinen (RISE), Johan Hofstedt (ELU Konsult), Stefan Östman (Abetong), Ingemar Löfgren (Thomas Betong). Ett tack riktas till dialoggruppens deltagare samt till finansörerna.

Stockholm, juni 2019

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary	6
1 Introduktion	7
1.1 Introduktion till LCA	7
1.2 En LCA-beräkning för byggprodukter och byggnadsverk	8
1.3 Mål, syfte och avgränsningar	9
2 Råd och anvisningar vid olika skeden och för olika roller	11
2.1 Tidigt skede	11
2.1.1 Byggherren.....	11
2.1.2 Miljösakkunnig (miljöcontrollern, miljösamordnare)	11
2.1.3 Arkitekten	12
2.1.4 Övriga projektörer	13
2.1.5 Materialleverantören – allmänt.....	13
2.2 Programskede	13
2.2.1 Byggherren.....	13
2.2.2 Miljösakkunnig.....	15
2.2.3 Arkitekten	16
2.2.4 Övriga projektörer	16
2.2.5 Materialleverantören – allmänt.....	17
2.3 System-, anbuds och byggskede.....	18
2.3.1 Byggherren.....	18
2.3.2 Miljösakkunnig.....	19
2.3.3 Entreprenören	20
2.3.4 Arkitekten	21
2.3.5 Övriga projektörer	21
2.3.6 Materialleverantören – allmänt.....	22
2.3.7 Materialleverantören – betong	22
2.4 Uppföljning och förvaltning.....	23
2.4.1 Byggherren och miljösamordnaren	24
2.4.2 Entreprenören	24
2.4.3 Miljösamordnare	25
2.4.4 Projektörerna	25
2.4.5 Materialleverantören – allmänt.....	25
2.4.6 Materialleverantören – betong	26
3 Erkännande av stöd	26
4 Referenser.....	27

Sammanfattning

Idag finns ett ökat intresse för att alla ska bidra till en minskad klimatpåverkan som kan beräknas med en livscykelanalys (LCA). LCA-metodiken kan preciseras så att miljöpåverkan för en byggprodukt eller ett byggnadsverk blir entydig och är därför ett givet verktyg för sektorns hållbarhetsarbete och det praktiska arbetet hur verifierbara miljökrav kan ställas. För att en LCA-beräkning ska kunna användas för jämförande syfte så måste inventeringen omfatta all resursanvändning under livscykeln. I praktiken innebär det en digital beräkning om resultatet ska kunna kvalitetssäkras och för att det inte ska vara kostnadsdrivande på grund av tidsödande manuellt arbete.

Det finns ett behov att beskriva vilka aktörer som finns och som berörs av LCA-krav under byggprocessen. Det finns också ett behov att beskriva hur dessa aktörer kan arbeta med LCA som ett digitalt verktygsstöd. I rapporten ges råd och anvisningar för hur LCA kan implementeras hos de olika aktörerna i byggprocessen till och med överlämnandet av byggprojektet till en förvaltande organisation.

Utgångspunkten för processbeskrivning för en miljöberäkning har varit en digitaliserad LCA-beräkning. Ett exempel på ett sådant digitalt LCA-verktyg är bland annat med Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg. Rapporten har ett upplägg så att de råd och anvisningar som ges inte är begränsad till Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, utan rapporten har ett generellt angreppssätt och beskrivning av processen för att gynna visionen om en mer allmänt framtida digital LCA-beräkning.

Projektets syfte är; dels att beskriva olika aktörer med olika ansvar och kompetenser som finns i byggprocessen från tidiga skeden till överlämnande av det färdiga fysiska resultatet och som berörs av LCA-krav, dels att beskriva hur dessa aktörer utifrån sin roll i byggprocessen kan använda LCA-beräkningen som ett miljökrav.

Rapporten ger konkreta råd och anvisningar för hur en digital LCA-beräkning görs för ett byggnadsverk och kan tjäna som underlag i en organisations implementering av LCA, som ett verktyg för att ställa miljökrav och för att bidra till miljöförbättringar med hänsyn till byggnadsverkets hela livscykel. De råd och anvisningar som ges i rapporten följer en tidsaxel där byggprocessen är indelade enligt följande; tidigt skede, programskedet, systemskedet, anbuds- och byggskedet samt uppföljning- och förvaltningskedet. Rapporten hanterar ett generellt angreppssätt och beskrivning av processen för att gynna visionen om en mer allmänt framtida digital LCA-beräkning i ett livscykelperspektiv.

Summary

Today, there is an increased interest for everyone to contribute to a reduced climate impact. The LCA methodology is often the basis for how this environmental impact is to be quantified and the approach is included as part of the sector's sustainability work and used to specify how verifiable environmental requirements can be set in procurement. An LCA calculation must be made digitally if the calculation result is to be quality assured and not be cost-driven due to manual work.

It is therefore a need to describe which actors exist and how they are affected by these LCA requirements during the construction process. There is also a need to describe how these actors can work with a digital LCA tool support in the form of advice and instructions on how LCA can be implemented by the various players in the construction process and finally to the handover of the construction project to a managing organization.

The starting point for the environmental assessment process description has been a digitized LCA calculation, which is now possible with the Building Sector's Environmental Calculation Tool. The advice and instructions given in this report are not limited to the Building Sector's Environmental Calculation Tool. Instead the report has a general approach and description of the process to promote the vision of a more general future digital LCA calculation.

The purpose of the project is; first to describe different actors with different responsibilities and competencies in the construction process from the early stages to the hand-over of the finished physical result and secondly to describe how these actors can, based on their role in the construction process, contribute to the LCA calculation. The aim of the project is that the concrete advice and instructions given for how a digital LCA calculation is made for any construction works, can serve as a basis for an organization's implementation of LCA as a tool, to set environmental requirements and to contribute to environmental improvements with regards to the entire life cycle of the construction works.

The advice and instructions given in the report follow a time axis where the construction process is divided as follows; early stages, program stages, system stage, tenders and construction stages as well as follow-up and administration stages. The report handles a general approach and description of the process to promote the vision of a more general future digital LCA calculation accounting for a full life cycle.

1 Introduktion

1.1 Introduktion till LCA

Livscykelanalys (LCA) är ett starkt verktyg för att ställa miljökrav och att driva en utveckling mot mer ekologiskt hållbara byggnader. När man gör en LCA så erhålls ett resultat i form av bidrag till olika miljöpåverkanskategorier, såsom försurning, övergödning, marknära ozon, ozonnedbrytning och så vidare. Idag är klimatpåverkan den miljöpåverkanskategori som efterfrågas mest och det resultat som används mest från en LCA-beräkning.

För att en LCA ska kunna användas i upphandling och för att beskriva produkter miljöpåverkan på ett likartat konkurrensneutralt sätt, så måste ett antal metodval låsas fast. Detta gör att en LCA-beräkning för alla slags byggprodukter (material, material och tjänster) ska följa den europeiska standarden EN 15804. Genom att alla byggprodukters miljöpåverkan har beräknats med samma metod (enligt EN 15804) så kan dessa miljödata användas som underlag vid beräkning av ett helt byggnadsverk. På så sätt kan materialtillverkarna ge marknadsinformation om hur deras produkters miljöpåverkan förhåller sig mot andra leverantörer av samma material, eller alternativa material som används i liknande tillämpningar.

Livscykelinformation, byggnadsverk														Återvinning – samhällsbedömning		
A 1-5 Byggskedet					B 1-7 Användningsskedet							C 1-4 Slutskedet		D Övrig miljöinfo		
A 1-3 Produktskedet			A 4-5 Byggproduktionskedet													
A1 – Råvaruförsörjning	A2 - Transport	A3 - Tillverkning	A4 - Transport	A5 – Byggs- och installationsprocessen	B1 - Användning	B2 - Underhåll	B3 - Reparation	B4 - Utbyte	B5 – Ombyggnad	B6 - Energianvändning	B7 - Vattenanvändning	C1 – Demotering, rivning	C2 - Transport	C3 - Restproduktshantering	C4 - Bortskaffning	Återanvändnings-, Återvinnings- & Materialåtervinningspotential

Figur 1 Ett byggnadsverks livscykel indelat i ett antal livscykelsskededen och informationsmoduler. I modul D ges extra information om framtida marginalkonsekvenser vid återvinning och vilka miljönyttor som uppstår beroende på vilka alternativ återvinningen antas substituera (EN 15804, EN15978). A1-5 Byggskedet är en svensk benämning av informationsmodul A1 till A5¹.

I metदानvisningarna för en LCA för byggprodukter är miljöpåverkan indelad i ett antal livscykelsskededen och informationsmoduler, se Figur 1. På samma sätt är standarden för byggnader indelad i samma livscykelsskededen och informationsmoduler. På så sätt erhålls ett modulärt system med LCA-data för byggmaterial mm, som gör att alla kan bidra med LCA-data för sina delar och den som tar fram en LCA för ett helt byggnadsverk kan använda dessa för att skapa sin LCA-beräkning för det färdiga produktionsresultatet under hela dess livscykel.

¹ <https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk200299/sistk209/>

1.2 En LCA-beräkning för byggprodukter och byggnadsverk

En LCA-beräkning som ska användas för jämförande syfte måste inventeringen omfatta all resursanvändning under livscykeln samt uppfylla byggherrens och samhällets funktionskrav, vilket i praktiken innebär att den måste göras digitalt, om beräkningsresultatet ska kunna kvalitetssäkras och för att det inte ska vara kostnadsdrivande på grund av tidsödande manuellt arbete. För att få en förståelse för hur detta digitala arbetsflöde görs måste vi först beskriva hur vi benämner olika delar av processen. I tidiga skeden tas arkitekturritningar fram. Dessa utgör idag ofta en digital modell av byggnadsverket och dess byggdelar. Senast under projekteringen får alla byggdelar ett "material-recept" och "aktivitets-recept". Material-receptet beskriver vilka *material* som byggs in i respektive byggdela. Aktivitets-receptet beskriver vilka *resurser* som krävs för att erhålla byggnadsdelen, som ett färdigt produktionsresultat enligt de utförandeanvisningar och arbetsmetoder som valts av entreprenören.

Byggnadsverket och den underliggande digitala modellen kan på så sätt beskrivas som summan av alla byggdelar som sammantaget uppfyller byggherrens och samhällets funktionskrav. Ett byggprojekt kan innehålla flera byggnadsverk och då kan det vara lämpligt att göra en analys av varje byggnadsverk för sig. I tidiga skeden kan byggdelarna sakna recept, men i en anbuds- eller produktionskalkyl så finns alltid dessa recept preciserade för att kunna beräkna kostnaden. Summan av alla byggdelar och deras recept utgör resurssammanställningen för byggprojektet, vilket är indata som behövs för att göra en LCA-beräkning. För att kunna redovisa miljöpåverkan på ett enhetligt sätt så behöver resurssammanställningen delas in i olika byggnadsverk och deras ingående byggdelar. Det möjligt att använda olika system (såsom SBEF, BSAB, CoClass) för att dela in byggnadsverket i byggdelar.

En digital LCA-beräkning genomförs i följande steg:

1. En byggdelsuppdelad resurssammanställning tas fram från en digital modell för det byggprojekt som ska analyseras.
2. De delar av resurssammanställningens byggdelar som saknar material- och/eller aktivitets-recept kompletteras med konservativa schabloner, så att LCA-beräkning beskriver hela byggprojektet.
3. *Tidiga skeden:* Alla resurser i den objektspecifika resurssammanställningen länkas till generella branschgemensamma LCA-data, samt referensscenarion för transportavstånd, drift och underhåll med mera, så att beräkningen baserat på generella branschöverenskomna antagande (på ett gemensamt kostnadseffektivt och rationellt sätt). *Senare och överlämningskede:* Om möjligt byts de generella LCA-data ut mot produktspecifika LCA-data för de material som faktiskt in. Även andra generella antagande som gjorts byts ut mot faktiska uppgifter så långt det är möjligt. Notera att två LCA-beräkningar är nu möjliga från samma modell och resurssammanställning, där ett resultat utgör ett branschnormerat resultat och ett objektsspecifikt resultat som beskriver de faktiska förhållande (så långt det är möjligt). Dessa specifika valen kan innebära både ökad och minskad miljöpåverkan i förhållande till det branschgemensamma scenariot.
4. LCA-resultatet beräknas med en byggdelsuppdelning, omfattning, kvalitet och redovisningsformat som beställaren efterfrågat. För att säkerställa vad LCA-beräkningen kan användas till så måste en kompletterande kvalitetsrapport som beskriver viktiga förutsättningar om hur beräkningarna gjorts också tas fram och rapporteras.

Som framgår av den övergripande beskrivningen ovan av hur en LCA-beräkning görs i en upphandling, så är det beställaren som till slut avgör kraven som beräkningen ska följa. Vi kan också konstatera att de LCA-standarder som finns i området inte reglerar de branschgemensamma delar som krävs för att LCA-beräkningarna ska ske så kostnadseffektivt och på ett så enligt sätt som möjligt. Det finns således ett behov att förankra dessa branschgemensamma LCA-anvisningar för att förenkla beräkningarna för alla parter.

IVL har under flera år och medverkat i flera projekt för att på frivilliga basis utveckla en digital utveckling av LCA-beräkningen som följer den typ branschöverenskommelser som krävs för att uppnå ett LCA-resultat som är anpassat för att användas i upphandling baserat på digitala underlag.

En viktig del i denna utveckling är Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM) som i sin första version är ett manuellt gratisverktyg, som gör att fler aktörer kan göra en LCA-beräkning på ett likformigt sätt (Erlandsson 2018). I en vidareutveckling med möjlighet att läsa in resurssammanställningen digitalt till Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg har gjorts inom ramen för forskningsprogrammet Smart Built Environment (Erlandsson 2019b). En digitalt inläst resurssammanställning ger både en ökad kvalitet på LCA-beräkningen, samtidigt som LCA-beräkningen kommer att gå snabbare och sker på ett mer likformigt sätt. Denna digitaliseringen är ett av flera planerade vidareutvecklingssteg av Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg.

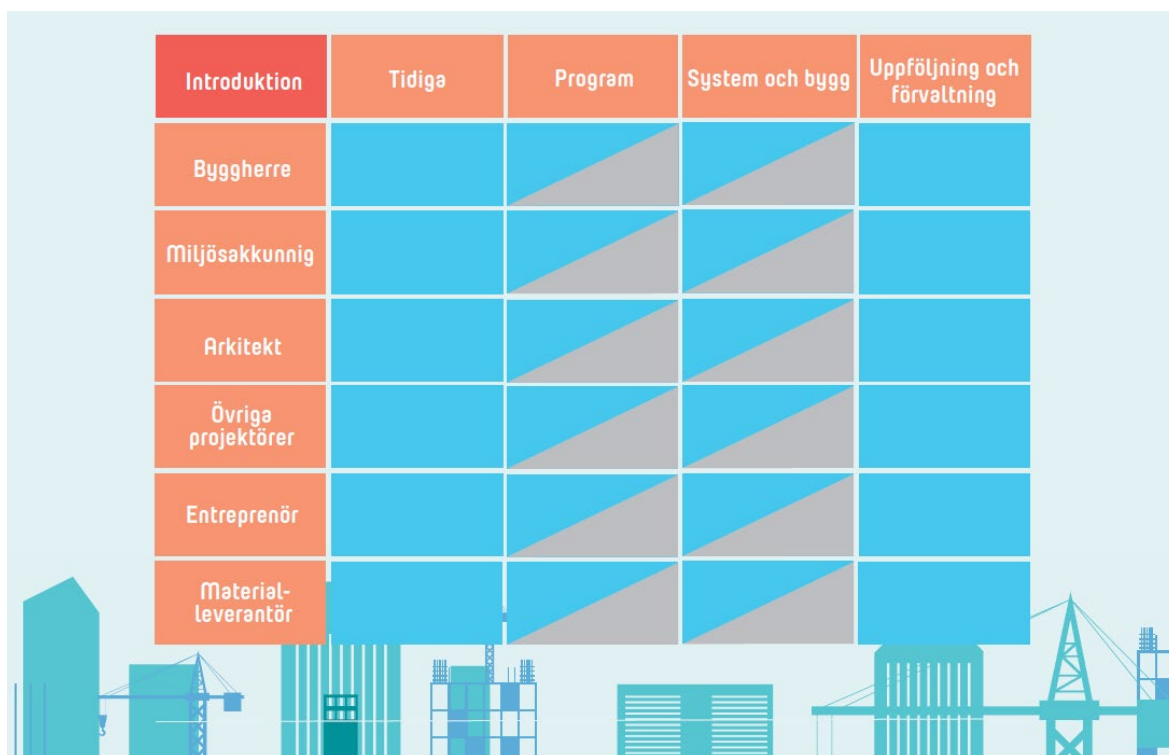
1.3 Mål, syfte och avgränsningar

Idag finns ett ökat intresse för att alla ska bidra till en minskad klimatpåverkan. LCA-metodiken ligger ofta till grund för hur denna miljöprestanda ska kvantifieras och ingår som en del av hur sektorns hållbarhetsarbete ska kunna bedömas (Fossilfritt Sverige 2018) och det praktiska arbetet med hur verifierbara miljökrav kan ställas. Det finns därför ett behov av att beskriva vilka aktörer som finns och som berörs av dessa LCA-krav samt analyser under byggprocessen. Det finns också ett behov att beskriva hur dessa aktörer kan arbeta med ett digitalt verktygsstöd, i form av råd och anvisningar för hur LCA kan implementeras hos de olika aktörerna i byggprocessen, till och med överlämnandet av byggprojektet till en förvaltande organisation.

Projektets syfte är; dels att beskriva olika aktörer med olika ansvar och kompetenser som finns i byggprocessen när en LCA-beräkning görs från tidiga skeden till överlämnande av det färdiga fysiska resultatet, dels beskriva hur dessa aktörer utifrån sin roll i byggprocessen kan bidra till LCA-beräkningen.

Målet med projektet är att de konkreta råd och anvisningar som ges för hur en digital LCA-beräkning görs för ett byggnadsverk, kan tjäna som underlag i en organisations implementering av LCA som verktyg för att ställa miljökrav och för att bidra till miljöförbättringar med hänsyn till byggnadsverkets hela livscykel.

Utgångspunkten för processbeskrivning har varit en digitaliserad LCA-beräkning, som nu är möjlig med Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg. Rapporten har ett upplägg så att de råd och anvisningar som ges inte begränsad till Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, utan rapporten har ett generellt angreppssätt och beskrivning av processen, för att gynna visionen om en mer allmänt framtida digital LCA-beräkning oavsett i vilket verktyg som denna beräkning görs i.



Figur 2 Byggprocessen indelad i en matris med olika aktörer/roller samt en tidsaxel (Erlandsson 2019a).

I rapporten är tidsaxeln och de olika skedena i byggprocessen indelade enligt följande; tidigt skede, programskedan, system-, anbuds och byggskede, samt uppföljning- och förvaltningsskede (se Figur 2). De delvis grå-markerade rutorna i matrisen indikerar att det finns råd och anvisningar framtagna för specifika byggmaterial, vilket i denna rapport exemplifierats med betong. För närvarande finns sådana texter utarbetade för betong och kan principiellt byggas på med motsvarande texter för andra material. De texter som finns i rapporten följer de olika rutorna enligt matrisen i Figur 2 och är designade för att kunna redovisas på en hemsida eller på annat sätt i på nätet, där läsaren kan välja att bara läsa "sin" rad, eller vad som sker under ett visst tidskede, eller att skriva ut alla texter och på så sätt erhålla motsvarande text som i denna rapport.

I den processbeskrivning med råd och anvisningar som återfinns i rapporten har en avgränsning av livscykeln och byggnadens miljöpåverkan gjorts, på så sätt att vi valt att skilja på den *fysiska byggnaden* och dess livscykel (skede A till C), och *brukarrelaterad* miljöpåverkan från byggnadsverkets användningsskede (informationsmoduler B6). För en byggnad innebär denna indelning av LCA-beräkningen att brukarrelaterad miljöpåverkan hanteras separat, det vill säga följande delar hanteras med egna miljökrav; hushållsenergi, verksamhetsenergi, användning av kall- och varmvatten samt, de hyresgästanpassningar som görs av byggnaden och den utrustning och inventarier som finns också normalt ägs av hyresgästen. För en anläggning som väg eller järnväg omfattar den brukarrelaterade delen under skede B av de fordon som kör på vägen och den miljöpåverkan dessa ger upphov till. Denna avgränsning har gjorts för att anpassa användningen av LCA i en upphandling för att få en systemgräns som motsvarar det fysiska upphandlade objektet. Detta hindrar inte att LCA-krav även ställs för brukarrelaterade delar av byggnaden, men att dessa bedöms separat. Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg hanterar för närvarande byggprocessen (modul A1-5), men utveckling pågår för att verktyget byggs ut så att hela byggnadsverkets livscykel (skede A till C) kan beräknas och redovisas.

2 Råd och anvisningar vid olika skeden och för olika roller

2.1 Tidigt skede

2.1.1 Byggherren

Detta skede resulterar i ett underlag till ett investeringsbeslut. Som ett stöd i tidiga skeden för att definiera byggprojektet tas ett underlag fram som beskriver vilka funktionskrav som ska uppfyllas, med hänsyn till framtida hyresgäst/brukarens behov samt fastighetsägarens krav. Processen innebär att olika möjliga exploateringsalternativ utreds och byggnaden normalt sett får en volym och storlek på olika ytor. Även val av ambitionsnivå med hänsyn till miljöpåverkan måste definieras i detta skede. En hög miljöambition kan påverka fastighetens ekonomiska värde positivt och kan ge viktiga styrsignaler till den fortsatta processen. Ambitionsnivån för miljöpåverkan i detta skede kan hållas kort och indikativ såsom;

- Val av ambitionsnivå såsom att,
 - följa lagkrav
 - följa branschpraxis
 - överträffa lagkrav och branschpraxis
 - ställa marknadsdrivande krav på bästa tillgängliga teknik
- Att använda ett miljöcertifieringssystem som en del av kravställen.

Vid val av ambitionsnivå för olika aspekter kopplat till miljöpåverkan är det möjligt – och troligtvis i framtiden ett hygienkrav – att ange ett lämpligt riktvärde på klimatpåverkan per ytmått för den färdiga byggnaden som beräknats med en livscykelanalys (LCA). För ett anläggningsprojekt är det oftast lättare att utgå ifrån branschpraxis för olika byggdelar och sedan göra förbättringar med en preciserad storlek.

Ett vanligt sätt att precisera sina miljökrav idag är att även använda ett miljöcertifieringssystem. I de fall miljöcertifieringssystemet saknar krav på LCA (såsom Svanens krav på byggnader), eller det aktuella systemet ställer lägre ambitionskrav än vad som byggherren har som ambition för den aktuella byggnaden, så är det aktuellt att komplettera miljöcertifieringssystemens krav med egna projektspecifika krav på miljöprestanda som beräknats med allmänt vedertagen och standardiserad LCA-metodik.

2.1.2 Miljösakkunnig (miljöcontrollern, miljösamordnare)

I tidiga skede utvecklas projektiden och förutsättningar för bygglov, men där krav i andra handlingar såsom detaljplan och exploateringsavtal måste beaktas. I detta skede tas grundläggande beslut som styr byggnadens framtida utformning och projektets ambitioner inklusive vilken miljöprestanda som ska uppnås. Formellt sett är byggherren ansvarig för detta.

För att bistå byggherren så är det viktigt att det finns en miljöskunnig i detta skede och under utvecklingsprocessen. Om den rollen innehas av en unik kompetens, så kan den exempelvis benämnas miljösamordnare eller miljöcontroller. En annan variant är att rollen ingår som en del av en annan projektör såsom en konstruktör eller arkitekt.

I tidiga skeden kan den miljöskunniga hjälpa byggherren att välja ambitionsnivå på miljökraven. Beroende på vald ambitionsnivå och det aktuella projektets specifika förutsättningar, kan det redan i detta skede finnas behov av att förankra de val som görs med andra aktörer i byggprocessen. Det beror på att vissa val kan få konsekvenser för andra delar i byggprocessen som måste hanteras för att klara uppställda mål när det gäller funktion, ekonomi och miljö. Redan i tidiga skeden kan LCA-beräkningar tjänstgöra som ett indikativt beslutsunderlag. Om man arbetar med en digital modell kan denna användas som grund för att exportera en resurssammanställning till LCA-verktyget såsom Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg så att en första LCA-beräkning görs utifrån modellen.

Vid beräkning av byggnadens klimatpåverkan i tidiga skeden så ger detta en god indikativ uppfattning om byggnadens miljöpåverkan, med hänsyn till de antaganden som måste göras då ett detaljerat projekteringsunderlag saknas. Denna resurssammanställning till LCA-beräkning kan antingen erhållas direkt från den digitala modellen och det CAD-verktyg som arkitekten använder (se nedan) och exporteras resurssammanställning (som är underlaget till LCA-beräkningen) från modellen till ett externt LCA-verktyg såsom Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg. Ett annat alternativ är att resurssammanställningen kommer ifrån en byggkostnads kalkyl som görs separat eller delvis baserat på den digitala modellen (vilket är fallet om exempelvis VICO office används). Baserat på den digitala modellen och/eller kalkylen erhålls på så sätt en resurssammanställning som kan användas som indata för en första projektspecifik LCA-beräknad miljöpåverkan.

2.1.3 Arkitekten

Arkitekten har en framträdande roll i tidiga skeden för framtagandet av olika förslag på den färdiga byggnadens placering på tomten, byggnadsutformning med planlösningar samt dess gestaltning. Arkitekten agerar i detta skede ett allmänt stöd till byggherren. Historiskt sett har arkitekten tagit fram ett antal skisser för att konkretisera och visualisera det tänka förslaget till byggherren. Idag är det vanligt att dessa skisser ganska tidigt görs digitalt i olika CAD-program, vilket ger arkitekten nya möjligheter att redan i skisstadiet arbeta med en hög detaljeringsgrad.

När man idag arbetar digitalt i tidiga skeden är det rationellt att konceptuellt testa olika lösningar. Med de digitala stöd som finns kan arkitekten ta fram beslutsunderlag för olika förslag och förfina dessa med olika ändringar. En vanlig fråga är vad byggkostnaderna är för de olika alternativen. Med den utveckling som nu skett kan arkitekten baserat på den digitala modellen ta fram en byggkostnads kalkyl. Eftersom denna byggkostnads kalkyl även innehåller en resurssammanställning, så kan den även användas för en LCA-beräkning redan i skisskedet. I Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg är denna koppling mellan arkitektens CAD-verktyg möjlig genom att använda VICO. Verktyget VICO gör det möjligt att baserat på denna tidiga arkitekturritning och dess olika byggdelar att korsreferera dessa till i standardrecept i VICO:s byggdelsbibliotek. På så sätt görs en rationell byggkostnads kalkyl direkt från en digital modell. Detta nya arbetssätt betyder att dagens arkitekter som använder dessa digitala verktyg har möjlighet att ge byggherren ett mer utförligt beslutsunderlag som även omfattar miljöpåverkan från en LCA-beräkning.

2.1.4 Övriga projektörer

I tidiga skeden är det normalt sett inte aktuellt att göra en exakt konstruktionslösning och det finns därför normalt sett ingen större dialog med konstruktören i detta skede. Vissa styrande faktorer för arkitekten såsom spännvidder för olika bjälklag och liknande hämtas antingen direkt från komponent- eller stomsystemleverantörerna eller så konsulteras en konstruktör. På samma sätt hanteras normalt sett även andra konstruktionsmässiga aspekter i detta skede. I de flesta fall finns således inte detaljerade konstruktionslösningar i den digitala modellen för byggnaden i detta skede, varför det främst är digitala A-ritningar som kan användas för en LCA-beräkning.

I det fall avancerade konstruktionslösningar eller nya material eller materialkombinationer valts, kan det vara relevant att involvera såväl konstruktören som potentiella leverantörer av material, komponenter eller byggdelar, t.ex. stomleverantör. Om sådana underlag tas fram digitalt som ”typlösningar” så kan dessa även användas för att göra LCA-beräkningar.

2.1.5 Materialleverantören – allmänt

I detta skede är normalt sett inte den exakta byggnadsutformningen bestämd och därför är det ofta inte aktuellt att hantera materialfrågor i detta skede.

2.2 Programskede

2.2.1 Byggherren

Enligt plan-och bygglagen (PBL) är byggherren den som för egen räkning utför eller låter utföra projekterings-, byggnads-, rivnings- eller markarbeten. Byggherren är oftast fastighetsägaren men kan även vara en brukare eller förvaltare av någon annans fastighet (inom staten exempelvis Trafikverket, Statens fastighetsverk, Akademiska hus). Detta skede resulterar i att programhandlingar tas fram som beskriver byggnadens storlek, tekniska standard och byggnadens övriga utformning i stort. Programhandlingarna sammanfattar alla förutsättningar för projektet och är styrande för den fortsatta projekteringen i systemskedet. Processen medger att olika möjliga exploateringsalternativ utreds som kan omfatta allt från disponering av tomten till byggnadens planlösning och gestaltning.

I detta skede sätter byggherren detaljerade miljökrav som ska hanteras i projektet. Vanligast är att LCA-baserade miljökrav ställs främst för klimatpåverkan (fortkortat GWP_{GHG} 'global warming potential' för 'greenhouse gases') och redovisas som ett sammanvägt värde för alla växthusgaser med enheten koldioxidekvivalenter (CO_2e). Genom att ställa LCA-krav idag innebär en högre ambitionsnivå än vad som lagen, detaljplanen, markanvisningen/exploateringsavtalet, byggreglerna kräver, då det idag saknas minimikrav eller gränsvärde för olika byggnadsverks klimatpåverkan. Det betyder att det idag är upp till byggherrens eller den framtida fastighetsägarens miljökrav (det vill säga om denna är någon annan än byggherren) att ställa krav på minskad klimatpåverkan för alla byggprojekt, om vi ska kunna nå de klimatmål som bygg- och anläggningssektorn ställt upp (Fossilfritt Sverige 2018), samt våra nationella klimatmål. Det nationella klimatmålet innebär att senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser, vilket också ingår i den klimatlag som trädde i kraft 2018.

Att ställa krav med hjälp av en LCA ger förutsättningar att ställa funktionskrav. Att allmänt sett ställa sina krav som just funktionskrav gynnar innovationer och är i sig ett materialneutralt sätt, och därför också konkurrensbefrämjande. Med stöd av LCA är det möjligt att ställa funktionskrav för olika miljöaspekter, vilket stödjer implementeringen av miljökrav baserad på denna metod.

Ett generellt sätt att ställa LCA-baserade miljökrav är att i varje projekt ställa upp ett mål vad man vill uppnå konkret. Enligt LCA-trappan kan man förenklat sett dela in syftet med en LCA i följande steg (baserat på Erlandsson m.fl. 2018 och Anderson m.fl. 2016)):

- **1. Kunskapsbyggande, betydande miljöaspekter:** Syftet är att ta reda på vad som är stort och smått, vad som kan påverkas genom aktiva val och på så sätt medvetandegöra och öka kunskapen om den egna byggnadens miljöpåverkan.
- **2. Förbättra miljöprestanda:** Syftet är att utifrån identifierade betydande miljöaspekter föreslå och genomföra förbättringar. Olika alternativa konstruktionslösningar och materialval, byggmetoder och så vidare undersöks, för att hitta mer miljöanpassade alternativ som också klarar övriga krav som ställs på byggnaden byggherrens och samhällets funktionskrav.
- **3. Jämföra med andra:** Syftet är att bestämma byggnadens miljöprestanda för att jämföra resultatet med andra byggnader, eller för att utvärdera den egna byggnadens miljöprestanda utifrån ett gränsvärde/krav för vad som kan accepteras. När jämförelse med andra görs räcker det inte med att byggherrens och samhällets funktionskrav uppfylls utan beräkningarna måste baseras på standardiserade metoder som gör att beräkningsresultat följer samma metodik under hela dess analyserade livscykel, vilket är en förutsättning för en jämförelse.
- **4. Klimatneutralisera byggnadsverket:** Syftet med detta steg är att först bestämma den grundläggande klimatskulden som byggprojektet ger upphov till. Därefter tillkommer nästs steg att utreda möjligheterna att om möjligt uppnå klimatneutralitet. Detta andra steg är än så länge i sin linda och omfattar bland annat möjligheten att tillämpa koldioxidinfångning och lagring. Det är viktigt att den är samma slags LCA-metodik som tillämpas för att möjliggöra klimatneutrala byggnader. Det är i detta perspektiv därför viktigt skilja på symbolhandlingar såsom att köpa utsläppsrätter, eller bekosta skenbara klimatkompensationsåtgärder och verkliga negativa minskningar av klimatutsläpp (se vidare i Erlandsson 2019c).

Miljökraven måste i detta skede konkretiseras så att de kan ligga som underlag till framtagande av systemhandlingar. Om byggherren inte är så van med att arbeta med LCA, så kan steg 1 i LCA-trappan vara en lämplig ambitionsnivå. Steg 2 är där de flesta befinner sig idag och steg 3 är dit vi strävar efter att uppnå för att möjliggöra jämförbarhet med;

- gränsvärden
- referensvärde
- miljöklassningsnivåer
- eller
- att möjliggöra utvärdering av olika anbud från olika aktörer.

Idealt sett måste hela byggnadsverket med sin funktion och livslängd beaktas vid jämförande användning av en LCA. I de flera LCA verktyg som används idag saknas användning- och

slutskedet, vilket är en begränsning. Långsiktigt måste vi även lägga till en dimension till i klimatarbetet, det vill säga klimatneutrala byggprojektet, steg 4 i LCA-trappan. Idag ser vi inledande initiativ till sådana krav i form av miljöcertifieringssystem (se exempelvis piloten NollCO2) och i upphandling (se lokala färdplanen i Malmö samt krav på upphandling i Göteborgs Stad).

Vid preciseringen av miljökraven måste byggherren ta hjälp av den miljöskunniga för att formulera LCA-kraven på en övergripande målstyrande nivå. Hänsyn måste då också tas till om byggherren valt att tillämpa ett miljöcertifieringssystem och de ytterligare krav detta ställer på den LCA som ska utföras. Även andra LCA-relaterade krav som ställs genom framtida lagkrav och exploateringsavtal och så vidare måste beaktas vid precisering av mål och syfte med den aktuella LCA:n. Med detta som underlag utarbetar den miljöskunniga sedan fram en mer detaljerad kravspecifikation på hur LCA ska utföras för den aktuella byggnaden och med detta som grund läggs projektets miljökrav fast.

2.2.2 Miljöskunnig

I programskedet har den miljöskunniga en viktig roll att aktivt delta i utvärdering av de olika byggnadsförslag som normalt sett görs i detta skede. LCA:n görs i detta skede baserat på generella LCA-data för material och byggaktiviteter, med det underlag som erhålls från arkitekten och med den kännedom som finns om konstruktionen. För att kunna göra LCA-beräkningen används indata i form av en resurssammanställning idag vanligtvis från den byggkostnads kalkyl som upprättats eller direkt från den digitala modellen (om en byggkostnads kalkyl saknas eller inte görs på ett digitalt användbart sätt). Den miljöansvariga kan på så sätt redan i detta skede göra en första bedömning av möjligheten att uppnå det LCA-baserade kravet som ställs, och analysera vilka eller vilket alternativ som har störst förutsättningar att klara detta krav. Beroende på resultatet på LCA-beräkning och ambitionen i projektet, så kan miljökravet komma att påverka, och till stora delar vara styrande, för val av material och konstruktionslösningar.

Den miljöskunniga måste nu ta fram en detaljerad kravspecifikation för den LCA som ska utföras i projektet. Denna kravspecifikation omfattar främst följande delar av en LCA, som måste preciseras för att säkerställa att syftet och omfattning med analysen blir tillräckligt detaljerad med hänsyn till de LCA-krav som ställs:

- Vilka grundläggande funktioner hos byggnaden utöver byggnadskonstruktionen ska eventuellt hanteras med LCA-krav det vill säga; uppvärmningen, varmvattenanvändningen, vattenanvändningen, verksamhets/fastighetsdelen
Om någon av dessa brukarrelaterade delar inte hanteras med LCA-krav så är det lämpligt att andra slags miljökrav ställs på dessa byggnadsrelaterade funktioner.
- Vilken analysperiod gäller för LCA-beräkningen, det vill säga hur lång tid ska antas innan byggnaden byggs om på ett standardhöjande sätt eller demonteras.
- Vilka livscykelkedan ska vara med i analysen och med vilket nyckeltal (det vill säga deklarerad eller funktionell enhet) ska resultatet redovisas.
- Vilken omfattning ska resurssammanställningen ha:
 - För vilka byggdelar kan förenklade nyckeltal användas om en resurssammanställning saknas eller bedöms vara för tidskrävande att inventera
 - Vilka byggdelar ska kunna särredovisas (såsom garage)

- Vilka byggdelar kan helt exkluderas (såsom grundläggning och iordningställande av tomten och komplementbyggnader)
- Vilken kvalitet på LCA-data krävs:
 - Vilka miljöindikatorer ska tas med
 - Hur mycket av resurssammanställningen behöver kopplas mot miljödata
 - Hur stor andel av resurssammanställningen ska som ett minimikrav hanteras med specifika LCA-data och i anbudsskedet respektive efter färdigställande och
 - Vilken kvalitet ska generiska respektive leverantörsspecifika data ha (Q metadata)
- Vad är kravet på den digitala leveransinformation (LOD, level of details) för att kunna räkna sin LCA digitalt i olika skeden och hur ska resultatet levereras i maskinläsbart respektive mänskligt läsbar format.

Notera att val av redovisningsenhet och byggdelsuppdelning påverkar hur krav kan utformas och utvärderas kopplat till olika byggdelar, byggnadsverket eller byggprojektet som helhet.

2.2.3 Arkitekten

Med utgångspunkt från de konceptuella förslag som finns från tidigare skede har arkitekten en betydande roll att vidareutveckla byggnadens gestaltning, planlösning och funktionskrav utifrån den framtida hyresgästens behov och önskemål. I detta skede fastställs också den slutliga dispositionen av tomten. I denna process görs ofta flera alternativ vars miljöpåverkan skiljer sig åt och kommer vara en del av bedömningsprocessen för att fastställa byggnadsutformningen.

En allt mer viktig miljöfråga är att utforma byggnaden så att utnyttjandet av ytorna blir så effektiva som möjligt i rummet och över tiden. I detta ingår också att beakta på vilket sätt designval och byggnadsutformningen kan göras, så att sannolikheten för en lång livslängd ökar och att en byggnad vid ett framtida behov av ombyggnad är så pass flexibel och har sådan arkitektoniska värden att den bedöms som värd att återanvända. Samma synsätt gäller vid val av inredning, ytskikt, disposition av icke bärande innerväggar och så vidare, så att en hyresgästanpassning underlättas (Gerhardsson m.fl 2018), och motsvarande åtgärder för ett bostadshus.

Det är viktigt att tänka på att byggnadsutformning inte bara ska styras av den första hyresgästen och brukandet av byggnadsverket, utan det finns ett längre ansvar att utforma byggnaden så att den med små medel kan byggas om och är användbar även för framtida generationer. Att redan på designstadiet och i kravspecifikationen till systemhandlingar ställa krav på förenklad hyresgästanpassning, demonterbarhet eller andra åtgärder som ökar förutsättningarna för att byggnaden ska få en lång livslängd innebär både minskad miljöpåverkan och hushållning med våra naturresurser.

Arkitekten har idag möjlighet att via sitt CAD-verktyg och den digitala modellen göra bedömningar av både kostnader som miljöpåverkan för möjliga alternativ. På så sätt har arkitekten en stor möjlighet att aktivt bidra till en miljöförbättrad byggnad tillsammans med andra projektörer.

2.2.4 Övriga projektörer

I programskedet är det normalt sett inte aktuellt att göra en exakt konstruktionslösning och det är därför ofta bara en begränsad dialog med konstruktören i detta skede. I vissa projekt finns det

aspekter som påverkar konstruktionsval så som svåra grundläggningsförhållanden eller avancerade konstruktionslösningar som i detta skede inte kan bedömas baserat på tidigare erfarenheter. I de fall det görs mer preciserade konstruktionslösningar, inklusive alternativa konstruktionslösningar, så är det viktigt att detta resultat integreras i den digitala modellen för den aktuella byggnaden, så att informationen kan användas digitalt även för andra ändamål såsom byggkostandskalkyl och LCA-beräkningar.

De olika alternativ som bedöms i programskedet omfattar ofta konstruktörens kompetens och är viktiga för att bestämma tekniska för- och nackdelar för val av stomme, grundläggningsmetod osv. Konstruktören kan då ge råd om konstruktionsval som även omfattar miljöpåverkan. Detta är speciellt viktigt om ambitiösa miljökrav ställs.

2.2.5 Materialleverantören – allmänt

Det är i programskedet de olika alternativa utförandena av byggnaden utvärderas på en övergripande nivå, med avseende på miljökrav och andra krav. Vid en hög miljöambition så kommer detta att påverka materialvalet och miljökraven kan i många fall bli styrande. Eftersom stora materialmängder används för stomme, grund och fasad så har givetvis val av material i dessa delar stor betydelse för byggnadens klimatpåverkan. Vid en hög miljöambition kommer valet av stomme att vara viktigt i detta skede. Möjliga stomval å sin sida påverkas av olika funktionella krav och där efterfrågade spännvidder och ljudkrav ofta är avgörande för valet. Materialleverantören har den bästa kunskapen om sina produkter vad avser funktion och miljöpåverkan och kan bidra till att hitta lösningar och lämpliga produkter för att ge en byggnad med minsta möjliga miljöpåverkan relaterat till funktion. Materialleverantören har också i många fall tillgång till LCA-verktyg för produkterna som kan användas för optimering.

En annan viktig faktor vid en hög miljöambition är att säkerställa att det finns leverantörer som kan erbjuda produkter med lägre miljöpåverkan än genomsnittet. I vissa fall kan det dessutom krävas att det tas fram objektsanpassade produkter med lägre klimatpåverkan än vad som ingår i en leverantörs ordinarie sortiment. I sådana fall måste givetvis leveranstiden beaktas. Det är därför viktigt att kontakter med materialleverantörer etableras redan i programskedet, då produkterna i många fall är viktiga, eller rent av avgörande för om ställda miljökrav ska kunna infrias.

2.2.5.1 Materialleverantören – betong

Vid behov av klimatförbättrad fabriksbetong så är det viktigt att försäkra sig om att de lokala producenterna kan tillhandahålla de kvaliteter som projektet kommer att kräva. Det är med andra ord klokt att påbörja en sådan dialog redan innan systemhandlingarna är klara. I de fall den lokala producenten inte har den kvalitet som efterfrågas i det ordinarie sortimentet, så ger en tidig kontakt denne en möjlighet att ta fram en sådan kvalitet för det specifika objektet.

För att bedöma vilken möjlighet det finns lokalt att tillgå på klimatförbättrad betong så är kontakter med de lokala betongleverantörerna naturligt. Om en optimerad betongkvalitet efterfrågas så är Svensk Betongs EPD verktyg ett stöd (2019), som gör det enkelt och ta fram LCA-data för en kundunik kvalitet.

Om krav ställs på klimatförbättrad betong så kan det vara aktuellt att ställa detta i relation till torktiden för olika betongkvaliteter. I sådana fall är det viktigt att redan i detta skede ta fram underlag som kan användas i systemskedet som underlättar den fortsatta projekteringen. Detta underlag kommer då att rikta sig till flera av projektörerna och har karaktären "tänk på att ..." och

”om du väljer denna typ av betong så innebär det ...”. Se vidare exempelvis i rapporten ”Klimatförbättrad betong” Svensk Betong 2019.

2.3 System-, anbuds och byggskede

Vem som ansvarar för vad under system- och byggskedet beror mycket på entreprenadform. Systemhandlingarna beskriver den konstruktiva utformningen av byggnaden och dess tekniska installationer. Baserat på systemhandlingarna tar entreprenören fram bygghandlingar, det vill säga de utförandeanvisningar som entreprenörerna använder för att ta fram anbudspris. Därefter görs upphandling av entreprenörer. I detta skede är det lämpligt att beställaren fram ett allmänt *miljöprogram* som formulerar krav som berör miljö, hälsa och energi. Entreprenören tar sedan baserat på detta underlag fram en *objektsanpassad miljöplan*².

Vi har i denna rapport valt att avgränsa miljöaspekten till att handla om miljöpåverkan baserat på LCA-beräkningar för byggnadens livscykel, utan de brukarelaterade delarna. Det innebär att hänsyn inte är tagen till driftens miljöpåverkan i form av verksamhets-/hushållsenergi och uppvärmning av byggnaden inklusive varmvatten. Reparationer, underhåll, utbyten mm. under livslängden ingår däremot, då de är en del av byggnadens livscykel. Den brukarelaterade miljöpåverkan bör alltid hanteras separat vid upphandling och det går med fördel att använda LCA-metodik även här, eller andra slags miljöindikatorer som inte är scenarieroende och som kan vara lättare att verifiera.

2.3.1 Byggherren

Byggherren kan beroende på entreprenadform styra val av arbetsmetoder, konstruktionslösningar och materialval. En utförandeentreprenad innebär att byggherren är den som ska tillse att de miljökrav som ställts också efterlevs. Då krävs oavsett entreprenadform att det avtalas hur detta underlag ska se ut och när det ska levereras av entreprenören, som har viss del av den information som behövs för att verifiera LCA-beräkningen. En totalentreprenad ger entreprenören en större frihetsgrad att välja material och arbetsmetoder baserat på de utförandeval som görs, förutsatt att detta inte fastlagts i systemhandlingarna eller i entreprenadavtalet. En hybrid av dessa entreprenadformer är så kallat styrd totalentreprenad, som förenklat sett gör att val av arbetsmetoder, konstruktionslösningar och materialval delvis flyttas till beställaren (denna entreprenadform är vanlig hos Trafikverket).

Byggherren har via de underlag som togs fram i programhandlingsskedet målstyrt miljöambitionen i projektet och detaljerna hanteras därför av olika projektörer och samordnas av den miljöskunniga via miljöprogrammet. Se vidare nedan.

² <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/hallbarhet/stall-hallbarhetskrav/bygg-och-fastighet/lokaler-nybyggnad/totalentreprenad/objektsanpassad-miljoplan/>

2.3.2 Miljösakkunnig

Vid upphandling måste man skilja på att ställa krav vid en utförandeentreprenad och en totalentreprenad. Den miljösakkunniga samordnar i detta skede byggherrens ambitioner och ansvarar för framtagande samt genomförandet av miljöprogrammet.

I en utförandentreprenad tillhandahålls bygghandlingar av beställaren och det finns därför inte så stora möjligheter för entreprenören att göra några ytterligare större miljöförbättringar. I en utförandeentreprenad kan byggherren, beroende på vald ambitionsnivå, ställa LCA-baserade miljökrav i miljöprogrammet exempelvis enligt listan nedan som bygger på LCA-trappan och syftet med LCA som beskrivs i stycke 2.1.1:

- Beställaren vill öka sin och entreprenörens medvetenhet och kunskap om miljöpåverkan: Ett allmänt krav kan ställas på att entreprenören ska utföra en LCA-beräkning. Byggherren behöver då tillhandahålla anvisningar för hur denna LCA ska utföras och utarbetar en sådan enligt punktlistan stycke 2.2.2. LCA-resultatet avser då normalt miljöprestanda för den färdiga byggnaden/byggnadsverket (det vill säga byggprojektets miljöpåverkan för modul A1 till A5) och utgör då ett utförandekrav (det vill säga kravet uppfylls först efter det att entreprenören fått avtalet). En hög andel produktspecifika LCA-data ska då användas och kan kravställas och avtalas att entreprenören ska tillhandahålla. Det går även att ställa ett krav på en LCA-beräkning baserat på entreprenörens förfrågningsunderlag/produktionshandlingar, eller en kombination av dessa beräkningar vid två tidpunkter. Eftersom LCA-beräkningen inte är kopplad till något prestandakrav, så är det i princip inga problem att kräva en LCA för byggnadens hela livscykel. Notera att entreprenörens avtalade rådighet gäller den färdigställda byggnaden (skede A), vilket gör att den beräknade miljöpåverkan för resterande delar av livscykeln (skede B och C) alltid bara kan ses som ett indikativt resultat och ingen garanti. Dessutom har entreprenören oftast inte rådighet hur byggnaden underhålls och förvaltas i övrigt. Kraven på beställaren att precisera LCA-metodiken är i detta alternativ inte lika viktig, då den varken utgör grund för val av entreprenör eller några incitament.
- Beställaren vill stimulera till miljöförbättringar:
 - Beställaren kan i förfrågningsunderlaget be entreprenören att ge ett traditionellt anbud och ett anbud som innebär miljöförbättringar för byggprojektet (dvs för modul A1 till A5). Detta gröna sidobud kan (men behöver inte) innebära avsteg från förfrågningsunderlaget. Ett sådant avsteg kan t. ex. vara en förlängd byggtid. Utförandekraven på hur LCA-beräkningen skall genomföras ska följa byggherrens anvisningar enligt punktlistan i stycke 2.2.2.
 - Beställaren kan ge entreprenören en referensnivå för hela byggnadsverket eller dess byggdelar och på så sätt definiera en referensnivå för byggprojektet (dvs för modul A1 till A5). Referensnivån kan dels bestämmas av beställaren och dennes LCA-beräkning, eller entreprenörens LCA-beräkning. Utifrån miljöförbättringar som entreprenören föreslår och genomför i förhållande till denna referensnivå kan t.ex. kopplas ett ekonomiskt incitament.

- En variant eller komplement till (ovanstående punkter) är att beställaren ställer krav på enskilda produkters klimatpåverkan. Detta kan dels utgöras av ett absolut prestandakrav eller ett krav på lägre miljöpåverkan relativt ett referensvärde. En viss procentuell förbättring kan då t.ex. kopplas till ett ekonomiskt incitament. De inköpta produkternas miljöprestanda bör då normalt styrkas med produktspecifika miljövarudeklarationer (EPD enligt EN 15804 eller motsvarande, vilket då blir ett utförandekrav).

Nedanstående alternativ är exempel på hur LCA-krav kan ställas och kräver att det finns en LCA-metodik som är tillräckligt entydig, så att en rättvis jämförelse mellan två olika entreprenörers LCA-beräkningar kan garanteras. Samma LCA metodik måste tillämpas för alla resurser och för alla delar av livscykeln som analyseras. Denna typ av krav är inte begränsade av entreprenadform, men genom att ställa krav på byggnadsverket som helhet ökar entreprenörens frihetsgrad för hur miljöförbättringar kan genomföras. Detta indikerar att en totalentreprenad bör ge entreprenören en större frihetsgrad och därmed möjlighet att aktivt bidra till miljöförbättrande åtgärder än vid en utförandeentreprenad. Exempel på miljökrav som kräver en LCA-metodik som möjliggör ett jämförbart resultat listas nedan:

- Ett krav på en maximal miljöprestanda för att byggnadsprojektet (modul A1-A5) ställt som ett prestandakrav, exempelvis för klimatpåverkan som $\leq 240 \text{ kg CO}_2 \text{ e/m}^2$.
- En variant av ovanstående är att ingen maximal miljöprestanda ställs som krav, utan istället utvärderas de olika anbudsgivarnas relativa miljöprestanda som en del av anbudsutvärderingen.
- Ovanstående krav kan byggas på med ett krav på att entreprenören även ska ta fram LCA-beräkning för skede B och C. Detta krav kan skärpas om så önskas av beställaren så att ett maximalt bidrag från skede B och C såsom maximalt $40 \text{ kg CO}_2 \text{ e/m}^2$ under 50 år, utifrån beställarens metodanvisningar hur dessa beräkningar ska utföras³.

Som påtalats ovan så är rådet att hantera brukarrelaterade miljöpåverkan såsom driftsenergin separat från byggnadens övriga livscykel för att på så sätt undvika metodmässiga problem. Energins miljöpåverkan är dessutom scenarioberoende vilket försvårar användningen av LCA ytterligare. Genom att avgränsa LCA:n till byggnadens livscykel så sätt förenklas LCA-beräkningarna och osäkra bedömningar av energisystemens framtida miljöprestanda undviks, vilket är viktiga delar när LCA ska användas i en upphandling.

2.3.3 Entreprenören

Systemhandlingarna ger en bild av den planerade byggnaden och ligger till grund för projektets byggkostnads kalkyl och därmed anbudspris. Med utgångspunkt ifrån systemhandlingarna och entreprenörens valda arbetsmetoder så tas olika bygghandlingar fram. Den produktionskalkyl som baseras på bygghandlingar kan förväntas ligga nära det underlag och indata som avgör den

³ På detta sätt kan även andra delar än den fysiska byggnadens livscykel inkluderas i LCA-beräkningen såsom driftens energianvändning och blir då styrd av beställarens anvisningar.

färdiga byggnadens miljöpåverkan. Entreprenörens möjligheter att påverka byggprojektets miljöpåverkan handlar om aspekter såsom att; undvika material eller produkter med onödigt hög klimatpåverkan, val av materialleverantörer, åtgärder för att minska spillet och annat avfall, återvinna massor på plats, minimera behov av transporter och att minimera miljöpåverkan för den egna arbetsprocessen på byggarbetsplatsen.

Baserat på beställarens miljöprogram tar entreprenören fram en miljöplan för hur dessa byggherrekraav ska omsättas i praktiken. Under byggproduktionsskedet kan entreprenören ofta välja olika arbetsmetoder och material som uppfyller de tekniska funktionskrav som ställs. Beroende på hur de LCA-baserade kraven ställs påverkas entreprenörens arbete och möjligheter att uppfylla beställarens miljökrav på det sätt som beskrivits i stycket 2.3.2 ovan.

I de fall beställaren ställt krav på en LCA kopplad till en relativ förbättring, så innehåller detta krav en referensnivå. Om beställaren under byggprocessen ändrar något, eller om något uppstår som entreprenören inte kunnat förutse, så finns det ett behov att justera referensnivån. Detta krävs för att referensnivån ska kunna utgöra den jämförsegrund för förbättringar som avtalats. Denna process sammanfaller med den ekonomiska regleringen som benämns ÄTA-hantering (ändrings- och tilläggs-arbeten). Genom att hantera en ÄTA-specifikation både när det gäller den ekonomiska regleringen och den miljömässiga hanteringen, så erhålls en effektiv process för alla parter att justera den tidigare i processen uppställda referensnivån. Även i det fall ett absolut miljöprestandakrav ställts, så kan det vara relevant att reglera nivån på det maximalt accepterade miljöpåverkan på samma sätt som beskrivs ovan.

2.3.4 Arkitekten

I systemskedet, anbudsskedet och byggproduktionsskedet är arkitektens roll mer begränsad och därmed också möjligheten att bidra till miljöförbättrande åtgärder. En viss konkretisering av den arkitektoniska gestaltningen samt inredningen av byggnaden sker dock och här kan arkitekten bidra och bedöma konsekvenserna för de alternativ som utvärderas.

2.3.5 Övriga projektörer

Projektörerna har en stor möjlighet att under systemhandlingsskedet göra tekniska val som kan påverka såväl materialval som arbetsmetoder. Det är därför viktigt att det framgår av programhandlingar och i upphandlingen av projektörer att dessa förväntas bidra konstruktivt med miljöförbättrande åtgärder och konsekvensbeskrivningar av de alternativ som övervägs. Det förväntas att miljöcontrollern och projekteringsledaren kan ge projektörerna det underlag och frihetsgrader som krävs för att kunna föreslå miljöförbättrande åtgärder som bidrar till en ur miljösynpunkt optimerad byggnad.

Konstruktör kan i detta skede förväntas bidra på ett betydande sätt då denna ansvarar för delar av den bärande konstruktionen som normalt sett utgör en större del av byggnadens eller anläggningens miljöpåverkan. Konstruktören utgår ifrån arkitekturritningarna och har därför ett behov av att stämma av vissa aspekter som påverkar arkitektens förslag. Det motsatta förekommer också det vill säga att konstruktören kan ge förslag på klimatförbättrade lösningar som påverkar byggnadens utformning och som då stäms av med arkitekten. Beroende på de miljökrav som ställs så påverkar detta dels val av stomme, grund, grundläggning osv samt de materialval som är möjliga. Vid ett övergripande val av konstruktionslösning kan konsulten använda resultatet från redan genomförda LCA-beräkningar, men konstruktören kommer precis som arkitekten att inom

en snar framtid kunna göra LCA-beräkningar direkt från den digitala modellen. På så sätt kan de förslag som utvärderas relativt enkelt bedömas med hjälp av LCA-metodik.

Beroende på hur och vilka LCA-krav som ställts så har konstruktören under systemskedet en viktig funktion i att bidra till att bedöma rimligheten de konstruktionsval som gjorts så att miljökraven också kan infrias. Om inte konstruktören eller någon annan av projektörerna har tillgång och kompetens att göra LCA-beräkningar så är det viktigt att de använder underkonsulter med denna kompetens för att kunna bidra till att ställda miljökrav kan utvärderas i detta skede.

2.3.6 Materialleverantören – allmänt

Det faktiska materialvalet styrs inte av de som tillverkar dem utan av andra i byggprocessen. Däremot så kan materialleverantörer bidra med kunskap om den egna produkten och hur den på bästa sätt används och kombineras med andra material så att den funktion som efterfrågas uppfylls. Materialleverantören kan också bidra med råd om produktval utifrån krav på både funktion och miljöpåverkan.

När det gäller LCA-baserad redovisning av miljöpåverkan för olika byggmaterial så finns det miljövarudeklarationer (EPD, environmental product declaration). Dessa EPDer gör det möjligt för en materialtillverkare, att på ett allmängiltigt sätt, beskriva sina produkters miljöpåverkan. EPDerna innehåller byggproduktens miljöpåverkan beräknad med LCA-metodik som baserat på en gemensam europeisk standard (EN 15804) och som är kopplad till byggproduktförordningen som bland annat hanterar CE-märkning av byggprodukter. I en framtid kan vi förvänta oss att det kommer bli ett krav att redovisa den LCA-baserade miljöpåverkan enligt EN 15804 för alla produkter som omfattas av CE-märkningen, genom att miljöpåverkan kommer bli en del av den obligatoriska prestandadeklarationen.

De flesta materialtillverkare ser idag över sina produkters miljöpåverkan genom att exempelvis;

- Resurseffektivisera dvs att mindre mängd ingående material och energi används för att uppnå samma slutfunktion som tidigare
- Öka sina produkters beständighet och därmed livslängd
- I de fall det är möjligt att tillhandahålla reservdelar så att en produkts livslängd kan förlängas
- Byta råvaror i processen till råvaror med mindre miljöpåverkan eller använda återvunna material eller spill (med lågt ekonomiskt värde) från andra processer
- Byta energivaror och insatsvaror som används i den egna tillverkningen till förmån för förnybara energislag
- Se över förpackningsmaterial, transporter och distributionssystem för minskad miljöpåverkan.

Utöver den typ av åtgärder som beskrivs ovan kommer det i en framtid bli aktuellt för flera materialtillverkare att helt byta tillverkningsprocesser. Flera materialtillverkare kommer även att tillämpa koldioxidinfångning och lagring (CCS, carbon capture storage) för att erhålla en klimatneutral produktion.

2.3.7 Materialleverantören – betong

För betongkonstruktioner kan man förenklat beskriva att en klimatförbättrad konstruktion och betong kan uppnås genom att,

1. Välj resurssnåla konstruktionslösningar
2. Kombinerar betong med andra material
3. Välj inte bättre betongkvalitet än vad som krävs med hänsyn tagen till hållfasthet, och exponeringsklass, med hänsyn tagen till den livslängd och funktion som efterfrågas.
4. Välj klimatförbättrade betongalternativ
5. Välj bästa produktleverantör i klassen

Enklaste miljöbesparingen är att om möjligt minska mängden betong med bibehållen funktion, exempelvis genom att använda fyllkroppar eller hålbjälklag. En miljöförbättring kan uppnås genom att använda olika kombinationer av material. Den första materialkombinationen som alltid bör utvärderas är mängden armering där olika betongtjocklekar, utformning mm kan ge upphov till olika armeringsbehov. Kombinerar betong med helt andra material kan också utvärderas, så som ett uppreglat spånskivegolv istället för en pågjutning med avjämningsbruk, puts direkt på isoleringen istället för en helsandwich osv kan vara ett sätt att sänka klimatpåverkan.

Ofta väljs en högre betongkvalitet än vad som krävs konstruktivt, det innebär användning av mer cement än nödvändigt vilket betydligt ökar klimatpåverkan i onödan. Av det skälet ska användning av betong med högt uttorkningskrav begränsas så långt det är möjligt. Om det ställs höga krav på uttorkning av betong, till exempel på grund av behov av en ökad byggtakt, så bör följande åtgärder övervägas:

- optimering av gjutcykler
- val av golvbeläggning, undvik om möjligt golvbeläggningar med högt uttorkningskrav
- ställ ett högt uttorkningskrav och dess ökade klimatpåverkan i relation till andra möjliga klimatbesparingsåtgärder för det specifika objektet och överväg detta krav på nytt tillsammans med beställaren
- använda betong med höga krav på uttorkning enbart där det verkligen behövs, dvs. begränsa användningen av denna betong till dessa delar av byggnaden.

Betonginitiativet (2109) har tagit fram en färdplan för klimatförbättrad betong till 2045. Vad som menas med klimatförbättrad betong beskrivs av Svenska Betong (2019) och är tänkt som ett stöd att förenkla att ställa klimatkrav på betong. När alla de steg gjorts som listats ovan så kan ytterligare en förbättring göras genom att för den betongkvalitet man valt välja den leverantör som kan leverera den till lägsta klimatpåverkan. Det är viktigt att denna typ av val kan styrkas med en miljövarudeklaration (EPD) enligt EN 15804 eller motsvarande.

2.4 Uppföljning och förvaltning

När projektet är genomfört lämnas byggnaden eller anläggningen över till byggherren och byggprocessen övergår till ett förvaltningsskede, där vi har inkluderat uppföljning av de krav som ställts. Detta kan anses utgöra en del av överlämnandet av bygganden, men som kanske inte sker exakt vid överlämningsstillfället. Det är brukligt att professionella beställare ställer krav på uppföljningsmöten för att reda ut eventuella problem under injusteringsperioden och öppklarade frågor som kvarstår. Dessa möten kan också ses som en möjlighet till ömsesidig erfarenhetsåterföring till kommande projekt och kan användas för att stämna av att de LCA-baserade miljökraven uppfyllts.

Om det sedan i en framtid för byggnaden uppstår ett behov uppstår för ombyggnad eller tillbyggnad så sluts cirkeln igen och ett nytt byggprojekt startar.

2.4.1 Byggherren och miljösamordnaren

Beroende på hur de LCA-baserade kraven ställts så finns det ett behov att på olika sätt följa upp att ställda krav infriats. Grunden för möjligheten att följa upp ställda miljökrav är att detta redan reglerats i detalj vid upphandlingen. IVL kommer att publicera en rapport under 2019 för hur LCA-baserade krav kan ställas och följas upp. Generellt sett kan man konstatera att det är entreprenören som måste stå för mycket av det praktiska uppföljningsarbetet när det gäller att beräkna miljöpåverkan med en LCA (se steg 1 till 3 i LCA-trappan, stycke 2.2.1). Däremot kan vissa delar av de negativa utsläppen för att uppnå klimatneutrala byggnadsverk (steg 4 i LCA-trappan, stycke 2.2.1) vara sådant som faller tillbaka på byggherren. Detta betyder att vissa åtgärder kan falla tillbaka på den egna organisationen och den framtida förvaltningen att följa upp.

2.4.2 Entreprenören

Oavsett verktygstöd som används för LCA-beräkningen så är utgångspunkten att det finns en resurssammanställning för byggprojektet. Idag är det vanligast att resurssammanställningen utgår ifrån produktionshandlingar och därmed produktionskalkylen (eller anbudskalkylen för mindre företag som inte gör en produktionskalkyl). Detta slags underlag ger idag normalt sett den bästa kvaliteten. I en framtid kan man tänka sig att även inköpssystemet kan bidra med att verifiera vad som köpts in till byggprojektet, var det byggts in, samt vilka aktiviteter som kan kopplas till produktionsresultatet och därmed utgör grunden för resurssammanställningen.

Dagens ekonomisystem är dock inte anpassade för denna typ av uppföljning, och därför inte lämplig att använda som underlag för att verifiera delar av resurssammanställningen och skulle i dagsläget göra arbetet mycket tidskrävande. Idag görs denna typ av efterkalkyl enbart när något gått mycket fel och en särskild utredning krävs för att redan ut orsakerna. Detta gör att det blir kostsamt att med dagens teknik ta fram exakta inköpta mängder, men borde vara ett rimligt krav i en framtid när ekonomisystem kan hantera denna typ av information på ett rationellt sätt.

Nästa steg i uppföljningen är att kontrollera att de generiska LCA-data som bytts ut mot produktspecifika LCA-data i form av miljövarudeklarationer (EPD), också har köpts in eller, om andra miljömässigt motsvarande produkter valts, att dessa har en EPD enligt EN 15804 eller motsvarande med likvärdig eller bättre miljöprestanda än uppsatt krav.

Även andra betydande antaganden som gjorts och som avvikit från de förhandsval som byggherren angivit eller accepterat i de inledande LCA-beräkningarna ska också kunna verifieras av entreprenören med uppföljda data. I de fall nyckeltal används för bygg- och installationsprocessen och det ställts krav på att ett entreprenören ska följa upp detta (dvs modul A5), så ska entreprenören kunna ta fram ett sådant underlag. Även andra ställda LCA-relaterade krav ska entreprenören kunna styrka och slutligen ta fram en LCA-beräkning som beskriver en den faktiska miljöpåverkan.

2.4.3 Miljösamordnare

Den miljöakkunnigas roll i detta skede blir mer av karaktären av en miljörevisor. Den miljöakkunniga bistår byggherren och ansvarar för att de uppgifter som entreprenören lämnar kan bedömas som rimliga och i överensstämmelse med de krav som ställts.

2.4.4 Projektörerna

De olika projektörerna har normalt sett ingen uppgift i detta skede. I de fall relationshandlingar tas fram så ska dessa överensstämma med de mängder som finns i resurssamställningen.

2.4.5 Materialleverantören – allmänt

Materialleverantörens produktspecifika EPDer enligt EN 15804 eller motsvarande är viktiga verifikat för att så nära verkligheten som möjligt dokumentera miljöprestanda för de faktiska byggmaterial som byggts in i byggnaden eller anläggningen. Med produktspecifika miljödata menas att redovisad miljöpåverkan gäller för den exakta produkten som byggts in och med uppströms miljödata från den tillverkningsenhet den kommer ifrån. Med andra ord inte baserad på miljödata som gäller för en hel produktgrupp eller en blandning av fabriker. Vi kan därför generellt säga att en produktspecifik EPD kännetecknas att den baseras på den unika produktens recept och den tillverkningsprocess/-fabrik som den kommer från. Det är möjligt att definiera exakt vad som menas med produktspecifika LCA-data och olika grader av detta begrepp genom att tillämpa Q-metadata som tagits fram för att dokumentera vilken kvalitet en EPD har (se vidare i Erlandsson 2018).

Utöver en produktspecifik EPD som finns publicerad genom en så kallad programoperatör⁴ såsom EPD International; EPD Norge eller IBU (Tyskland), så måste i offentlig upphandling även en "likvärdig deklARATION enligt EN 15804" accepteras. Följande definitioner av två olika slags likvärdiga miljödeklaration enligt EN 15804 tillämpas i Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, Miljöbyggnad 3.0 och av Trafikverket:

1) **Objektspecifik deklARATION**, baseras på ett EPD-verktyg och där tillverkaren redan har en godkänd och publicerad EPD (moder-EPD) för en produkt av samma produkttyp. Tillverkaren ska som verifikat till denna slags deklARATION bifoga eller inkludera direkt i deklARATIONEN, en text som beskriver skillnaden i LCA-beräkningen mellan den publicerade EPD:n och den aktuella objektspecifika deklARATIONEN. Den objektspecifika deklARATIONEN ska hänvisa till den publicerade moder EPD:ns registreringsnummer och sista giltighetsdatum.

2) **Återanvändning av EPD**, är en deklARATION för en produkt som baseras på insatsvaror som till övervägande del har produktspecifika EPD:er och som kompletterats av tillverkaren med en beräkning av insatsvarornas transportarbete och den egna processens klimatpåverkan. Dessa data sammanställs och beräknas av tillverkaren och ska på begäran kunna erhållas som verifikat på att deklARATIONEN kan anses som likvärdig. Tillverkaren ska i detta underlag också verifiera att summan av bidraget till den aktuella produktens totala GWP-värde (A1-3) kommer minst 90 % från insatsvaror med produktspecifika EPD:er, kompletterat med egna beräkningar för transporter och tillverkningsprocessen. Notera att 90 %-regeln innebär att totala bidraget från den egna

⁴ Denna typ av EPD följer den internationella standarden ISO 14025.

beräkningar för transporter och tillverkningsprocessen får maximalt utgöra 10 % av produktens totala GWP-värde (A1-3).

Oavsett vilket av alternativen som tillämpas enligt ovan ska de förenklade deklARATIONERNA följa LCA-metodiken och omfattningen för en EPD enligt EN 15804, om inte annat överenskommit med byggherren, såsom att endast klimatpåverkan behöver redovisas.

2.4.6 Materialleverantören – betong

Inom betongsektorn så kan variationer förekomma mellan olika leveranser av fabriksbetong. Det finns därför ett särskilt intresse att istället för en "medelvärdes-EPD", eller en "typ-EPD" eller likande deklARATIONER erhålla specifika EPDER från sin prefab eller fabriksbetongleverantör, som beskriver vad som faktiskt levererats till ett det aktuella byggobjektet. Detta är inte ett orimligt krav för de leverantörer som arbetar med ett EPD-verktyg. Svensk Betong har låtit ta fram ett sådant EPD-verktyg som medlemsföretagen kan använda. Med ett sådant verktyg är det rationellt att ta fram så väl en objektspecifik miljövarudeklARATION eller en deklARATION som baseras på registrerade EPDER, dvs enligt de två alternativa deklARATIONER som generellt sett accepteras på den svenska marknaden som likvärdig med en registrerad EPD.

3 Erkännande av stöd

Detta projekt "BIM och miljöanpassat produktval" finansieras av Stiftelsen IVL (projektnummer 4C:03/17) och Cementa. Detta projektet och utgör ett parallellt IVL-projekt till ett Smart Built Environment (SBE) projektet inom fokusområdet "Livscykelperspektiv. Del 2 Testpiloter" (Formas projektnummer 2016-02043).

4 Referenser

- Andersson R, Erlandsson M, Byfors K, Magnusson N 2016: Nyttan med deklarerad klimatpåverkan. Samhällsbyggaren nr 4/2016.
- Erlandsson M: Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM1.0. Ett branschgemensamt verktyg. Energimyndigheten, E2B2, IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport C300, februari 2018.
- Erlandsson M (2018): Q metadata for EPD. Quality-assured environmental Product declarations (EPD) for healthy competition and increased transparency. Smart Built Environment and IVL Swedish Environmental Research Institute, report No C363, December 2018.
- Erlandsson, M (2019a). Klimatförbättrade betongkonstruktioner: Användarstöd till BM. IVL Svenska Miljöinstitutet rapport B2343, maj 2019.
- Erlandsson M (2019b): Räkna smart och ställ digitala LCA-krav – En vidareutveckling av Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg”. Svenska Miljöinstitutet rapport C, 2019.
- Erlandsson (2019b): Digitalisering och implementering av Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM) och att ställa krav på en LCA i upphandling. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport nr C, 2019.
- Erlandsson M, Malmqvist T, Jelse K, Larsson M: Livscykelanalyser baserade miljökrav för byggnadsverk - En verktygslåda för att ställa miljökrav. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport Nr B 2253, februari 2018.
- Fossilfritt Sverige (2018): Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Bygg- och anläggningssektorn. Fossilfritt Sverige, 28 mars 2018.
- Gerhardsson H, Loh Lindholm C, Youhanan L, Stenmarck Å (2018): Återbruk av möbler och interiöra byggprodukter. Utvärdering och arbetsguide baserat på erfarenheter från IVL:s lokalanpassningar. IVL Svenska Miljöinstitutet, IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B2324, december 2018.
- Svensk Betong (2019): Klimatförbättrad betong. Svensk Betong, maj 2019.
- Betonginitiativet (2109): Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Betongbranschen. Rapport till Fossilfritt Sverige från Betonginitiativet 2019.

