

Rapport

SUSTAINABLE INNOVATION

Forfattere: Anne Rønning, Kari-Anne Lyng og Mie Vold**Rapportnr.:** OR.02.11**ISBN:** 978-82-7520-638-9**ISBN:** 82-7520-638-3

Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer

Litteraturstudie

Rapportnr.: OR.02.11

ISBN nr.: 978-82-7520-638-9

Rapporttype:

ISBN nr.: 82-7520-638-3

Oppdragsrapport

ISSN nr.: 0803-6659

Rapporttittel:

Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer

Litteraturstudie

Forfattere: Anne Rønning, Kari-Anne Lyng og Mie Vold

Prosjektnummer: 1462

Prosjekttittel: Litteraturstudie bygg og byggematerialer

Oppdragsgivere:

Kommunal- og regionaldepartementet

Oppdragsgivers referanse:

Hans Olaf Delviken

Emneord:

- LCA
- Bygg
- Klimabelastning

Tilgjengelighet:

Åpen

Antall sider inkl. bilag:

46

Godkjent:

Dato: 08.03.11



Prosjektleder



Forskningsleder

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	2
Summary	5
Ordliste	8
1 Innledning	9
1.1 Oppdragsbeskrivelse	9
1.2 Bygg og miljø	9
2 LCA-metodikk	12
2.1 Innledning	12
2.2 Ulike typer LCA	14
2.3 LCA i bygg	15
2.4 EPD – Environmental Product Declaration - miljødeklarasjoner	17
3 Metodisk tilnærming	19
4 Resultater	21
4.1 Klimabelastninger for ulike materialer	21
4.1.1 Tre	22
4.1.2 Betong	24
4.1.3 Stål	27
4.1.4 Aluminium	28
4.1.5 Glass	29
4.1.6 Isolasjonsmaterialer	29
4.2 Er klimabelastning fra dagens byggverk knyttet til driftsfasen?	30
4.3 Bli produksjonsfasen like viktig som driftsfasen for lavenergibygge?	34
5 Diskusjon	36
6 Konklusjon	40
7 Referanser	42

Sammendrag

Klimagassutslipp fra bygg knyttes i dag i stor grad til energibruk i driftsperioden. Gjennom stadig strengere energikrav og andre endringer, vil energibruk til drift kunne gå ned over tid. Det innebærer i så fall at den energien som går med til å produsere, transportere og sette opp bygget, i større grad kan bli relativt sett viktigere i en livsløpsanalyse.

KRD har i den forbindelse gitt Østfoldforskning i oppdrag å gjennomføre en litteraturstudie som skal gi oversikt over og vurdering av foreliggende litteratur/forskningsrapporter som beskriver ulike byggematerialers klimabelastninger og hvordan dette slår ut i et livsløpsperspektiv (LCA – Life Cycle Assessment), og derigjennom beskrive kunnskapsplattformen disse analysene tar utgangspunkt i. Det innebærer også en beskrivelse av hvilke faktorer som påvirker klima- og miljøbelastningen, herunder hvilke deler av livsløpet som er viktige.

Litteraturstudien er gjennomført ved søk i vitenskapelige databaser (Springerlink, Sciencedirect, Google Scholar, EPD Norges database over miljødeklarasjoner). Litteratursøket er begrenset til studier som er basert på LCA som metodikk for beregning av klimabelastninger knyttet til bygg og byggematerialer.

På bakgrunn av gjennomgang av litteraturen er det videre foretatt en analyse med fokus på å forklare hvilken metodisk plattform de ulike studiene er basert på, for derigjennom å forklare hvorfor resultater spriker og/eller eventuelt ikke er sammenlignbare.

For å illustrere dette, er det tatt utgangspunkt i to påstander som uttales i samfunnsdebatten om miljøbelastninger knyttet til byggematerialer og bygg gjennom levetiden;

1. Klimabelastning av dagens byggverk er knyttet til driftsfasen
2. Ved lavenergibygging blir produksjonsfasen like viktig som driftsfasen

Lavenergibolig (og passiv hus) er her forstått som bygg som prosjekteres med fokus spesielt på lavt energibehov og bruk av passive virkemidler. Tidligere ble det tatt utgangspunkt i tyske definisjoner hvor lavenergiboliger ble definert som boliger med total energibruk under 100 kWh/m²år, og/eller boliger med ca. 50 % reduksjon i total energibruk. I 2010 ble det utviklet en norsk standard som har tilpasset disse kriteriene til norske forhold. Standarden gir ikke en kort og entydig definisjon av begrepene, men gir kriterier for beregning av netto oppvarmingsbehov (romoppvarming og ventilasjonsvarme), krav til varmetapstall basert på klima og boligstørrelse og krav til energiforsyning.

Det metodiske fundamentet som er brukt i de ulike studiene, anvendes deretter i forhold til de to påstandene. I tillegg foretas det en vurdering av hva litteraturen mener er svakheter ved metodikk, manglende kunnskapsbasis og forslag til forbedringer for å foreta en god vurdering av byggverks miljøbelastninger gjennom levetiden. Til slutt foretas det en oppsummering av klimabelastning knyttet til ulike byggematerialer med fokus på hvordan disse produseres og hvilke utfordringer det er og hensyn en må ta når en gjennomfører LCA for disse materialene alene eller som en del av et helt bygg.

Med utgangspunkt i den gjennomgåtte LCA-litteraturen vil vi trekke fram følgende hovedfunn:

- Miljøbelastninger og energibruk knyttet til drifts-, vedlikehold og utviklingsfasene (FDVU) har stor og større betydning enn produksjonsfasen for ulike materialer.
- Ved lavenergibygg vil den relative betydningen av produksjonsfasen for byggematerialer øke.
- Det gis ikke grunnlag til å hevde at en type bygningsmateriale skal gis prioritet framfor et annet med hensyn til miljøbelastninger.
- Ved å inkludere overordnede løsningsvalg, som medfører at flere faser og aktiviteter inkluderes i LCA, vil de totale miljøbelastninger gjennom byggets levetid øke. Viktighet og omfang de ulike fasene har, vil avhenge av både formålet med analysen, type bygg, bruksmønster med mer.
- LCA som metode gir mulighet til å vurdere miljøkonsekvenser ulike valg under tidligfaseplanlegging, til prosjekteringsfase og FDVU-faser gir.
- Fordi det innenfor LCA-modellering gis muligheter til store variasjoner i beregningsmetoder vil en kunne få ulike resultater med hensyn til miljøbelastninger. Variasjonene forklares i forhold til formålet med studien, datagrunnlag og –kvalitet som benyttes og hvordan systemgrenser fastsettes (hvilke faser som inkluderes/ekskluderes).
- Standarder gir beskrivelse av hva som skal med i en analyse, men ikke hvordan beregninger skal foretas og med hvilket datagrunnlag.
- Eksisterende modeller og metoder for beregning av LCA presenterer resultatene i en form som ikke nødvendigvis er tilpasset aktuelle aktører i byggenæringens behov for miljøinformasjon. De er heller ikke tilpasset eksisterende verktøy som tradisjonelt er i bruk i byggeprosessen.
- LCA brukes i størst grad til å dokumentere konsekvenser av allerede fastlagte valg og beslutninger eller gjennomførte byggeprosjekter, og i mindre grad som planleggingsverktøy for simulering av konsekvenser av valg i ulike faser av byggeprosessen eller gjennom levetiden til bygget.

Bygningers miljøprestasjon er avhengig av mange faktorer, for eksempel hvordan de er utformet, hva de er konstruert av, hvor de er plassert og hvordan de brukes. Disse faktorene må ses i sammenheng for å kunne avgjøre om byggets miljøprofil er tilfredsstillende. Hva som er tilfredsstillende er ikke definert og vil til en hver tid reflektere politiske føringer, ambisjoner utbygger har med mer. Litteraturgjennomgangen viser at man i for liten grad benytter det potensialet LCA har som beslutningsverktøy. Basert på overordnede målsettinger – for et enkelt bygg, region, eiendomsmasse – kan en anvende livsløpsvurderinger for å vurdere måloppnåelse eller simulere miljøkonsekvenser ulike valg har på den totale miljøprestasjonen for bygget gjennom hele levetiden.

I Norge er prosessen med utvikling og bruk av LCA/EPDer kommet godt i gang både ved etablering av EPD-Norge og ikke minst Statsbyggs offensive bruk av etterspørselsmakten gjennom det å kreve EPDer for byggevarer og utarbeide klimagassregnskap for nye byggeprosjekter.

For å sikre økt bruk av levetidsbetraktninger bør det fokuseres på utfordringer langs to akser; på den ene siden styrke troverdigheten til det bakenforliggende datagrunnlag og beregninger for LCA og på den andre side tilrettelegge for bruk av resultater i faktiske byggeprosesser, bedrifters produktutvikling og i overordnede prioriteringer på statlig og kommunalt plan. Slik vi ser det, er det en rekke tiltak som vil kunne øke bruken av levetidsbetraktninger langs de to aksene. Eksempler på slike tiltak vil kunne være:

Metodikk – styrke troverdighet til beregninger:

- Sikre lik beregningsmetodikk for LCA av byggevarer gjennom utvikling av PCR (produktkategoriregler) for byggevarer og for sammensatte bygningsdeler som f.eks ytterveggsløsninger, takkonstruksjoner, etasjeskiller.
- Utvikle og gjøre tilgjengelig datagrunnlag:
 - Etablere nøkkeltall eller erfaringsdatabase for levetider i praksis for vedlikehold og utviklingsfaser
 - Kartlegge sammenhengen mellom bruksmønstre og energibruk
- Klarlegge sammenhengen mellom byggs tilpasningsdyktighet og konsekvenser for vedlikehold og utskiftinger.
- Etablere konsensus om hvordan miljødata for ulike byggematerialer kan beregnes på byggnivå i hele byggets livsløp; mao. hvordan koble material- og byggtekniske egenskaper ulike materialer har, alene eller i samspill med andre materialer.

Stimulere til økt bruk av LCA i beslutningsprosesser og politikkutforming:

- Klarlegge hvilken miljøinformasjon ulike beslutningstakere har behov for i ulike faser av byggeprosessen.
- Øke kunnskapen i næringen om sammenheng mellom valg i byggeprosessen og miljøprestasjoner gjennom for eksempel opplæring i form av kurs, etterutdanning og annen formidling.
- Integrere LCA-/EPD-resultater i eksisterende verktøy som tradisjonelt er i bruk i byggeprosessen (bl.a. BIM).
- Stimulere næringslivet til økt fokus og kjennskap til egne produkter ved å stille krav om EPDer ved anbudsprosesser, i forhold til nybyggprosesser, rehabilitering og vedlikehold.
- Stimulere til økt bruk av samspillsprosesser ved offentlig utbygginger hvor LCA kan anvendes som kommunikasjonsarena gjennom simulering av miljøkonsekvenser av valg.
- Sikre videre drift og utvikling av EPD-Norge som organisasjon i etableringsfasen gjennom offentlig støtte. Verifisering av EPDer er nødvendig for å sikre tillit til ordningen.
- Bruke LCA som en del av klima- og energiplanlegging ved kommunal arealplanlegging i forhold til utvikling og vurdering av bygningsmassen og utbyggingsmønstre/lokalisering.
- Kreve LCA-dokumentasjon med fremtidsscenarioer for bygg over en gitt størrelse ved byggesaksbehandling

Summary

Today, greenhouse gas emissions from buildings are mostly linked to energy consumption during its operation period. Through increasingly stringent energy requirements and other changes, energy use for the operation is likely to decrease over time. If so, this means that the energy consumed during production, transportation and construction of the building to a larger extent can be relatively more important in a life cycle assessment.

KRD has in this connection commissioned Ostfold Research to conduct a literature study, which will provide an overview and assessment of existing literature / research reports that describe various building materials' global warming potential and how this translates into a life cycle perspective (LCA – Life Cycle Assessment), and thereby describe the knowledge platform these assessments are based on. Moreover, it entails a description of the factors which affect the climate and environmental impacts, including the parts of the life cycle that are important.

The literature study was carried out through searches in scientific databases (Springer Link, Science Direct, Google Scholar, EPD Norway's database of environmental product declarations). The literature search is limited to studies that are based on LCA as a methodology for calculating the climate impacts associated with construction and building materials.

Further, on the basis of the literature reviews, it is carried out an assessment with the focus on explaining the methodological platforms the different studies are based on, and thereby explaining why the results vary and / or may not be comparable.

To illustrate this, this assessment is based on two statements that are strong in the public debate about the environmental impacts of building materials and buildings throughout their lifetimes;

1. Climate impacts of today's buildings are linked to the operational phase
2. In low energy buildings the production phase becomes as important as the operational phase

Low energy building was earlier based on German definitions for low-energy homes; total energy need for heating should be below 100 kWh/m²year, and / or homes with approx. 50% reduction in total energy consumption.

In 2010, a Norwegian standard was developed that adapted these criteria to Norwegian conditions. The standard does not provide a short and clear definition of the term, but provides criteria for determining the net energy needs for heating (space heating and ventilation heat), requirements for heat loss and energy supplies.

The methodological foundations that are used in the different studies are further applied in relation to the two statements. Additionally, it is conducted an assessment of what the literature says are deficiencies in the methodologies, lack of knowledge platforms and proposals for improvements, to be able to make good assessments of buildings' environmental impacts throughout their lifetimes. Finally, the climate impacts associated with different building materials are summarized, with a focus on how these are produced and what challenges there are, as well as what one must consider when conducting an LCA for these materials on their own or as part of a whole building.

Based on the reviewed LCA literature, we highlight the following main findings;

- The environmental impacts and energy consumption associated with the operation, maintenance and development phases (OMD) are of great and greater importance than the production of various materials.
- For low energy buildings, the relative importance of the production of building materials will increase.
- There is no basis to claim that one kind of building material should be prioritized over another with regard to environmental impacts.
- Through the inclusion of the overarching choices of solutions, which means that more phases and activities will be incorporated in the LCA, the total environmental loads through the building's life span will increase. The importance and scope of the various phases will depend on the purpose of the analysis, the type of construction, user patterns and more.
- LCA as a method makes it possible to assess the environmental consequences of different choices during the early planning stages, the design phase and the MOMD stage.
- Because it within the LCA modeling is given opportunities to make large variations in terms of calculation methods, it will be possible to get different results with regard to environmental impacts. The variations are explained in relation to the purpose of the study, the available data used and the quality of the data used as well as how the system boundaries are determined (which phases to include / exclude).
- Different standards provide descriptions of what must be included in an assessment, but no how the calculations should be made or based on what data.
- Existing models and methods for calculating the LCA presents results in a form that is not necessarily adapted to the specific actors in the construction industry's need for environmental information. Neither are they adapted to existing tools which traditionally are used in the building process.
- LCAs are mostly used for documenting the consequences of already established choices and decisions or completed construction projects, and are to a lesser extent used as a planning tool for simulation of consequences of different choices in various phases of the construction process or though the lifetime of a building.

Buildings' environmental performances depend on many factors, such as how they are designed, what they are made of, where they are located and how they are used. These factors must be considered in concert to determine if a building's environmental profile is satisfactory. What is satisfactory is not defined and will at all times reflect the political guidelines, the ambitions of the developers etc. The literature review shows that the potential of LCAs as decision tools are not utilized enough. Based on the overriding objectives – for a single building, region, building stock – one can use life cycle assessments to evaluate the effectiveness or simulate the environmental consequences of different choices on the total environmental performance of a building throughout its lifetime.

In Norway, the process of developing and using LCA/EPDs have made good progress both in the establishment of EPD Norway, and in Statsbygg's progressive use of the purchasing power through demanding EPDs for building materials and the development of greenhouse gas accounting for new building projects.

To ensure greater use of life cycle considerations, focus should be on the challenges along two axes: on the one hand, to strengthen the credibility of the underlying data and calculation methods of LCAs and on

the other hand facilitate the use of results in actual construction processes, companies' product development and overall priorities at the state and municipal levels. As we see it, there are a number of measures that could increase the use of lifetime considerations along the two axes. Examples of such measures could be:

Methodology – strengthen the credibility of calculations:

- Ensure equal calculation methodologies for LCAs of building materials, though the development of product category rules (PCR) for building materials and composite building elements such as external wall solutions, roof structures and floors.
- Develop and make data available:
 - Establish key values or databases with realistic lifetimes for maintenance and development phases.
 - Investigate the relationship between user patterns and energy consumption.
- Clarify the relationship between the building's adaptability and consequences on maintenance and replacements.
- Establish consensus on how the environmental data for different building materials can be calculated on the entire building's lifecycle; i.e. how to connect the material properties and technical properties different materials have, singularly or in combination with other materials.

Encourage increased use of LCA in decision making processes and policy formulation:

- Clarify what environmental information decision-makers need in the various phases of the construction process.
- Increase knowledge in the industry about the relationship between choices in the construction process and environmental performance through, for example, training courses, education and other outreach.
- Integrate LCA/EPD results in existing tools that are traditionally used in the construction process (e.g. BIM).
- Encourage the private sector to increase their focus and knowledge of their own products by requiring the use of EPDs in the tender processes, in relation to new construction processes, rehabilitation and maintenance.
- Encourage increased use of interaction processes in public development projects, where LCA can be used as a communication forum through simulation of the environmental consequences of choice.
- Ensure the continued operation and development of EPD Norway as an organization in the establishment phase through public support. Verification of EPDs are necessary to ensure confidence to the scheme.
- Use LCA as a part of the climate- and energy planning at the municipal land use planning departments in relation to the development and evaluation of the building stock and the development patterns / localization.
- Require LCA documentation with future scenarios for buildings of a given size in building permit procedures.

Ordliste

Allokering	Fordeling av inngangsstrømmer til eller utgangsstrømmer fra en prosess eller et produktsystem mellom det produktet som skal undersøkes og et eller flere andre produktsystemer
Attributional LCA	Livsløpsvurdering av et system slik det fremstår i dag mao. en dokumenterende LCA
Consequential LCA	Søker å inkludere den påvirkning det analyserte produktet har på omverdenen, og bygges på grunntanken om at et system aldri kan sees isolert fra relaterte systemer
Datakvalitet	Egenskap ved data som angår deres evne til å tilfredsstillende gitte krav
Enhetsprosess	Minste del med kvantifiserte inngangs- og utgangsdata som vurderes i et livsløpsregnskap
EPD (Environmental Product Declaration)	Miljødeklarasjon type III er en miljødeklarasjon som gir kvantifiserte miljødata ved bruk av forutbestemte parametre og ytterligere miljøinformasjon der det er relevant.
Forgrunnssystemet	Aktiviteter og materialstrømmer som er direkte knyttet til produktets livsløp
Funksjonell ekvivalent	Funksjonell enhet som beskriver hele byggverk. Funksjonell ekvivalent skal inkludere følgende parametre: * Type bygning * Relevante tekniske og funksjonelle krav (for eksempel lovbestemte og bestillers spesifikke krav) * Bruksmønster * Service life - brukstid
Funksjonell enhet	Kvantifisert prestasjon for et produktsystem til bruk som referanseenheter
Generiske data	Databasetall som kan gi gjennomsnittlige produksjonsdata for Europa
Hybrid LCA:	En blanding mellom PLCA og I/O LCA, der det benyttes prosessdata for forgrunnssystemet og I/O data for bakenforliggende systemer.
I/O LCA – input/output LCA:	Bruk av økonomiske input/output modeller, der statistikk over økonomiske transaksjoner mellom de ulike sektorene i økonomien kombineres med informasjon om utslipp fra ulike sektorer.
Komparative utsagn	Miljøpåstand som angår produktets fortrinn eller likhet i forhold til et konkurrerende produkt som tjener samme funksjon.
Livsløpsvurdering, LCA	Sammenstilling og evaluering av inngangsfaktorer, utgangsfaktorer og de potensielle miljøpåvirkningene til et produktsystem gjennom dets livsløp.
PCR (produktkategoriregler)	Sett av spesifikke regler, krav og retningslinjer for utarbeidelse av miljødeklarasjoner type III for en eller flere produktkategorier
PLCA – process LCA	Konvensjonell LCA der dataene som benyttes er hentet for hver materialstrøm eller hver aktivitet i systemet.
Produkt	En vare eller tjeneste
Produktsystem	Samling med enhetsprosesser og produktstrømmer, som utfører en eller flere bestemte funksjoner, og som former et produkts livsløp
Service Life Periode - SLP	Perioden mellom hver ombygging kan betegnes "bruksperiode"
Spesifikke data	Data som er innhentet fra en konkret produsent
Systemgrense	Sett av kriterier som angir hvilke enhetsprosesser som er deler av produktsystemet

1 Innledning

1.1 Oppdragsbeskrivelse

Kommunal- og regionaldepartementet (KRD) skal skrive en stortingsmelding om bygningspolitikken i løpet av 2011. Meldingen skal skissere problemstillinger og utfordringer som norsk byggsektor står overfor i årene framover, og vurdere tiltak og virkemidler som det kan være aktuelt for staten å iverksette for å nå nærmere definerte samfunns mål. Det antas at meldingen vil behandle tema knyttet til byggesaksbehandlingen, byggeprosess, kvalitative sider ved nye bygg og eksisterende bebyggelse – særlig energieffektivitet, miljøpåvirkning og universell- og estetisk utforming – og forhold i byggenæringen og i kommunene som kan ha betydning for gjennomføring av bygningspolitikken, herunder bla organisering, kompetanse, effektivitet og produktivitet. KRD trenger i denne sammenheng et grunnlag for å beskrive ulike byggematerialers klima- og miljøbelastning.

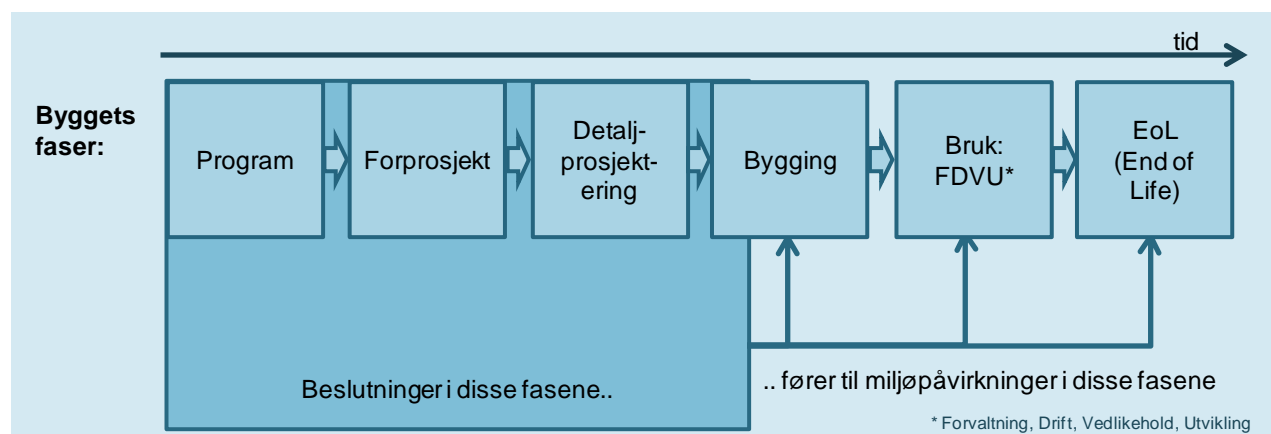
Klimagassutslipp fra bygg knyttes i dag i stor grad til energibruk i driftsperioden. Gjennom stadig strengere energikrav og andre endringer, vil energibruk til drift kunne gå ned over tid. Det innebærer i så fall at den energien som går med til å produsere, transportere og sette opp bygget, i større grad kan bli relativt sett viktigere i en livsløpsanalyse.

KRD har i den forbindelse gitt Østfoldforskning i oppdrag å gjennomføre en litteraturstudie som skal gi oversikt over og vurdering av foreliggende litteratur/forskningsrapporter som beskriver ulike byggematerialers klimabelastninger og hvordan dette slår ut i et livssyklusperspektiv (LCA – Life Cycle Assessment), og derigjennom beskrive kunnskapsplattformen disse analysene tar utgangspunkt i. Det innebærer også en beskrivelse av hvilke faktorer som påvirker klima- og miljøbelastningen, herunder hvilke deler av livsløpet som er viktige. KRD ønsket også en kort vurdering av mulige øvrige miljøkonsekvenser ved bruk av ulike materialer. Oppdraget er i sin helhet finansiert av KRD.

1.2 Bygg og miljø

Bygningers miljøprestasjon er avhengig av mange faktorer, for eksempel hvordan den er utformet, hva den er laget av, hvor den er plassert og hvordan den brukes. Disse faktorene må ses i sammenheng for å kunne avgjøre om byggets miljøprofil er tilfredsstillende. Likevel finnes det eksempler på bygninger som skal brukes på samme måte, plassert på samme sted, som har svært forskjellige belastninger for miljøet. Det er en indikasjon på at prosjektering av bygg og regelverk for bygg kan endres i en mer miljøvennlig retning og at byggbransjen kan unngå å refereres til som "40-prosentnæringen" (da den står for 40 prosent av samfunnets ressurs og energibruk).

De faktiske påvirkningene som i praksis skjer i de senere fasene er sterkt koblet mot de beslutningene som tas i planleggingen av bygget. Det er i de tidlige planleggingsfasene at valg om beliggenhet, materialer og utforming gjøres. Bygg har normalt mye lenger levetid enn de fleste andre produkter, noe som forsterker viktigheten av riktige valg i planleggingen. Figur 1.1 illustrerer sammenhengen.



Figur 1.1 Sammenheng mellom hvor i byggeprosessen beslutninger tas og hvor miljøpåvirkninger oppstår.

Den romerske arkitekt Vitruvius sa at byggverk skulle være funksjonelle, varige og vakre dvs de skulle være gode å være i, behagelige å se på, samt vare over lang tid. I vår moderne tid ser vi at krav til funksjonell endring kommer raskere og raskere for en del bygningstyper. Dette betyr at utsagnet kan suppleres med at byggverk skal være funksjonelle over tid. Dette betyr at begrep som livsløpsplanlegging må på dagsorden og LCA og LCC (life cycle cost) er metoder som håndterer henholdsvis miljø og økonomiske aspekter ved byggene.

Lov om offentlige anskaffelser (LOA) pålegger offentlige aktører å ta hensyn til miljø- og levetidskostnader under planlegging av anskaffelsen. I tillegg skal det også, så langt det er mulig, stilles konkrete miljøkrav til ytelsen eller funksjonen til produktet. Dette blir i sterkere og sterkere grad satt på dagsorden og er forankret i lover og forskrifter knyttet til byggverk. For å kunne operasjonalisere og iverksette de krav som stilles, må man kreve dokumentasjon over levetiden til byggverket som grunnlag for planlegging, bygging og bruk. Dette vil igjen kreve standardiserte metoder for utvikling av nøkkeltall, verktøy og veiledere.

Mange aktører i byggenæringen har gjennomført livsløpsanalyser av sine produkter og dokumenterer dette i miljødeklarasjoner – EPDer (Environmental Product Declaration). Statsbygg og andre miljøbevisste aktører i byggenæringen ser tydelig verdien av å fokusere på hele verdikjeden over levetiden til bygninger, samt det viktige virkemidlet det er å anvende etterspørselsmakten for både å oppnå mer miljøeffektive bygninger og stimulere til innovasjoner i byggenæringen. Statsbygg er i ferd med å implementere klimagassanalyser og -beregninger i alle sine prosjekter. Datagrunnlaget for miljøprestasjonen av byggematerialer som Statsbygg anvender, er i stor grad EPDer. I henhold til miljømålene skal Statsbygg blant annet stille krav til dokumentasjon av klimagassbelastning for nybygg. Det arbeides også med å integrere klimagassanalysene i LCC-analyser for nye byggeprosjekter. Samlet sett vil dette bedre beslutningsgrunnlaget i alternativsvurderinger.

Det er i internasjonal og nasjonal miljøpolitikk et stort fokus på klima og klimagassreduksjoner. Dette gjenspeiles i prioriteringer i næringslivet og også innen byggenæringen. En fare ved et for ensidig fokus på en miljøutfordring, er at man overser andre. Byggenæringen står helt klart overfor flere utfordringer enn bare klima. Miljøgifter, uttak av ressurser og påvirkning på biologisk mangfold er noen eksempler på dette. LCA og EPDer dokumenterer et bredere utvalg av miljøpåvirkninger. Dette utdypes nærmere i neste kapittel.

Begreper som lavutslippsbygg, passiv hus, nullutslippsbygg og sågar plusshus har befestet seg og det pågår mye forskning og utviklingsarbeid blant aktører i næringen på dette området. Fellesnevneren er fokus spesielt på lavt energibehov og bruk av passive virkemidler, samt miljøforbedringer i videre forstand.

Begreper som lavutslippsbygg, passivhus, nullutslippsbygg og sågar plusshus har befestet seg og det pågår mye forskning og utviklingsarbeid blant aktører i næringen på dette området. Fellesnevneren er fokus spesielt på lavt energibehov og bruk av passive virkemidler, samt miljøforbedringer i videre forstand.

Husbanken, Enova og Sintef har utviklet en håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger basert på en tysk definisjon (Dokka og Hermstad 2006). Her gis følgende definisjoner:

Lavenergiboliger er boliger med betydelig lavere energibruk enn ordinære boliger. Vanligvis defineres lavenergiboliger som boliger med total energibruk under 100 kWh/m²år, og/eller boliger med ca. 50 % reduksjon i total energibruk. For å nå en slik reduksjon i energibruken er det nødvendig med betydelige tiltak både på bygningskropp og installasjoner.

Såkalte passivhus har en helt klar definisjon på at romoppvarmingsbehovet ikke skal overskride 15 kWh/m²år. Det settes også en rekke andre krav til passivhus, bl.a. at behovet for installert oppvarmingseffekt ikke skal overskride 10 W/m². Definisjonen, og kriterier for passivhus er gitt av Passivhusinstituttet i Darmstadt (www.passivehouse.com).

Det har i ettertid blitt utgitt en Norsk Standard (NS 3700:2010) for kriterier for passivhus og lavenergihus (boligbygninger). På grunn av forskjeller i klima, konstruksjonsløsninger og byggeskikk er det i denne standarden gjort nasjonale tilpasninger til den tyske passivhusdefinisjonen som vist hos Dokka og Hermstad. Standarden inneholder en norsk definisjon med krav til energibehov, beregningskriterier, kriterier som brukes til sertifisering og krav til dokumentasjon for boliger som kan klassifiseres som lavenergi- eller passivhus. Standarden gir ikke en kort og entydig definisjon av begrepene, men gir kriterier for beregning av netto oppvarmingsbehov (romoppvarming og ventilasjonsvarme), krav til varmetapstall basert på klima og boligstørrelse og krav til energiforsyning.

2 LCA-metodikk

2.1 Innledning

LCA (life cycle assessment) er et metodisk verktøy standardisert gjennom ISO 14040 og 44 og er en systematisk kartlegging og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet til et produkt/produktsystem. En livsløpsvurdering tar utgangspunkt i et produktsystem, og vurderer miljø- og ressursmessige forhold ved dette systemet gjennom hele produktets livsløp, fra "vugge til grav", eller helst "vugge til vugge".

Tre sentrale poenger ved en livsløpsvurdering er:

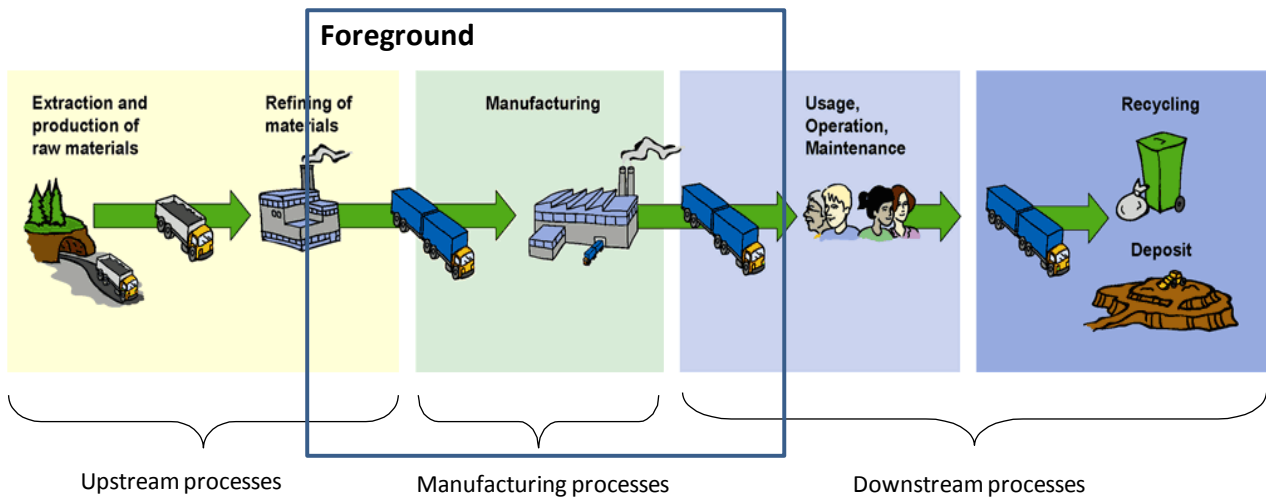
- Man ser på hele det tekniske systemet som skal til for å frembringe, bruke og avhende produktet (systemanalyse) og ikke bare på produktet som sådan
- Man ser på hele materialsyklusen langs produktets verdikjede og ikke bare på en enkel operasjon eller bearbeidingsprosess for et produkt (f.eks. råstoffraffinerings).
- Man ser på alle relevante miljø- og helsepåvirkninger for hele systemet og ikke bare på en enkelt miljøfaktor (f.eks. utslipp av løsemidler eller støv).

Ved utførelse av LCA er det viktig å definere **hensikt og omfang** av studien. Denne definisjonen vil ha stor påvirkning på definisjon av funksjonell enhet og systemgrenser.

Den **funksjonelle enheten** er en kvantifisert enhet som beskriver funksjonen til det analyserte produktet. Eksempelvis kan den funksjonelle enheten ved LCA av maling være 1 m² vegg vedlikeholdt i 10 år. På denne måten knyttes utslippene til produktets funksjon, og det kan lettere sammenlignes med andre produkter som har tilsvarende funksjon.

I studier som ikke inkluderer hele livsløpet, men kun kartlegger vugge til port er enheten definert som **deklart enhet**.

Når formål og funksjonell enhet er definert må systemet kartlegges. Datainnsamlingen i en LCA kan være en tidkrevende og utfordrende prosess, og det er alltid nødvendig å sette **systemgrenser** for å begrense studien og bestemme hvor grensene mellom det analyserte systemet og andre systemer går og hvilke aktiviteter som er relevante å inkludere og ekskludere.



Figur 2.1 Illustrasjon av sammenhengen mellom oppstrøms og nedstrøms prosesser.

I LCA skal som hovedregel alle betydelige oppstrømsprosesser inkluderes. Alle materialstrømmer og aktiviteter som bidrar til at funksjonen til et produkt kan oppfylles skal tas med i analysen. Det betyr at ved analyse av transport skal ikke bare utslipp fra kjøretøyet inkluderes, men også belastninger fra produksjon og vedlikehold av kjøretøyet, samt legging og vedlikehold av vei. Det skilles derfor mellom de materialer og prosesser som **konsumeres direkte** av systemet og **infrastrukturen** til et system.

Det skilles ofte mellom **spesifikke data** som for eksempel er innhentet fra en konkret produsent, og **generiske data** som er databasetall som kan gi gjennomsnittlige produksjonsdata for Europa. Det er vanlig å tilstrebe spesifikke data for **forgrunnssystemet**, som omfatter alle aktiviteter og materialstrømmer som er direkte knyttet til produktets livsløp. For bakgrunnprosesser kan en i større grad tillate bruk av **generiske data**.

Hovedelementene i metoden er kartlegging, klassifisering, karakterisering og forbedring som vist i Figur 2.2.



Figur 2.2 Hovedfasene i en livsløpsvurdering.

Tre sentrale spørsmål som en livsløpsvurdering kan gi svar på er:

- Hvilke er de viktigste miljøproblemer for et system?
- Hvor i livsløpet oppstår de viktigste miljøproblemene?
- Hva er det største potensial for produktforbedring av et system ut i fra en miljøeffektiv synsvinkel?

I en livsløpsvurdering vurderes normalt de potensielle påvirkninger et produktsystem kan ha på sine omgivelser. Det betyr at metoder og faktorer for beregning forsøker å vurdere de påvirkninger et system kan ha på omgivelsene.

En kartlegging og analyse av hele produktsystemet er en mer helhetlig tilnærming til helse-, miljø- og ressursproblemene enn det vi ofte har vært vitne til tidligere, der enkeltfaktorer eller enkeltstående prosesser har vært fokusert.

Når alle utslipp av substanser er kartlagt, skal de klassifiseres og karakteriseres. Utslipp til jord, luft og vann systematiseres og plasseres inn i relevant miljøkategori (global oppvarming, forsuring, overgjødning etc.). Deretter karakteriseres utslippene ofte ut ifra hvilken styrke de har i forhold til en referanse. For global oppvarming er det vanlig å karakterisere alle utslipp relatert i CO₂, slik at resultatet presenteres i CO₂-ekvivalenter. Det betyr at CO₂ har styrke 1, mens for eksempel metan har styrke 25 og lystgass styrke 298 ut ifra hvor stor klimapåvirkning hvert utslipp har sammenlignet med CO₂. For globalt oppvarmingspotensiale er det som regel karakteriseringsmetoden IPCC (2007) som benyttes. Valg av karakteriseringsmetode kan ha stor innvirkning på resultatene. Når en kun ser på en miljøindikator (som for eksempel global oppvarming), er det viktig å være klar over at andre miljøindikatorer kan gi andre resultater og konklusjoner.

En kan også oppgi utslipp som en endimensjonal parameter der mange miljøkategorier slås sammen. Et eksempel på en slik miljøindikator er EcoIndicator, som oppgir utslipp i ecopoints, der ett ecopoint representerer en tusendel av utslippene til en gjennomsnittlig europeer. En slik tilnærming medfører stor grad av verdivalg, da det er nødvendig å vekte ulike miljøproblemer i forhold til hverandre.

De forutsetninger som inngår i studien (formål, funksjonell enhet, systemgrenser etc.) kan ha påvirkning på resultatet. Dette gjør at sammenligning av flere ulike studier kan være problematisk og at forutsetningene alltid må undersøkes. Dette krever at resultat og forutsetninger fremstilles på en transparent måte.

2.2 Ulike typer LCA

LCAstudier kan deles inn i ulike kategorier. Type studie er førende for hvilke forutsetninger som inngår. Nedenfor gis en kortfattet oversikt over ulike kategorier studier kan deles inn i.

Det finnes to generelle hovedtyper LCA; attributional og consequential, der **attributional LCA** er en livsløpsvurdering av et system slik det fremstår i dag mao. en dokumenterende LCA. Det er dermed naturlig å bruke siste års gjennomsnittsdata for produksjon og det relevante års elektrisitet. **En consequential LCA** søker å inkludere den påvirkning det analyserte produktet har på omverdenen, og bygges på grunntanken om at et system aldri kan sees isolert fra relaterte systemer. I consequential LCA er det i større grad vanlig å utvide systemgrensene og å bruke en marginalbetragtning på energibærer for elektrisitet.

I ILCD Handbook (European Commission 2010), en håndbok som skal representere europeisk konsensus på hvordan LCA skal utføres, er LCAs studier delt inn i tre kategorier knyttet til hovedformålet med analysen. Ut ifra dette er det definert retningslinjer i forhold til systemgrenser, datakrav etc.

Situasjon A: Studier som skal brukes som beslutningsunderlag på mikronivå, det vil si utviklinger eller endringer i et produkt eller en prosess.

Situasjon B: Studier som skal brukes til strategiske og politiske beslutninger, definert som meso og makronivå.

Situasjon C: Studien skal kun brukes til dokumentasjon og ikke til beslutningsunderlag.

Innsamling av data er ofte det mest tidkrevende og utfordrende i en LCA. Data input i LCA kan baseres på ulike metoder:

PLCA – process LCA: konvensjonell LCA der dataene som benyttes er hentet for hver materialstrøm eller hver aktivitet i systemet.

I/O LCA – input/output LCA: Bruk av økonomiske input/output modeller, der statistikk over økonomiske transaksjoner mellom de ulike sektorene i økonomien kombineres med informasjon om utslipp fra ulike sektorer.

Hybrid LCA: En blanding mellom PLCA og I/O LCA, der det benyttes prosessdata for forgrunnsystemet og I/O data for bakenforliggende systemer.

2.3 LCA i bygg

Miljømessig skiller et bygg seg fra de fleste andre produkter ved at byggene har veldig lang levetid. Gjennom levetiden påvirkes miljøprestasjonen til bygget dels av konstruksjonsmessige og dels av driftsmessige forhold. Driftsfasen for bygget deles inn i fasene; **operasjonell drift, vedlikehold og utvikling**.

Operasjonell drift av bygget kan deles i underkategorier som energibruk, ettersyn og renhold. Når det gjelder energibruk er det viktig å ta hensyn til oppvarming, kjøling, samt evt ventilasjon, belysning, bruk av teknisk utstyr som PC/husholdningsprodukter. Bruksmønster for brukeren vil være viktig for hvor mye energi som brukes. Energibruk vil gi ulike resultater for f.eks klimagasser i en LCA, avhengig av hvilken klimavekting man legger på elektrisitet og andre energibærere.

Det stilles stadig strengere energikrav gjennom plan og bygningsloven og med tilhørende teknisk forskrift (TEK10). Utviklingen fortsetter mot det som i dag omtales som lavenergibygging. Selv om begrepet lavenergibygging ikke er definert per i dag, er det klart at en forsøker å oppnå bygg som har et lavere energiforbruk til oppvarming av bygget enn det de kravene som stilles i dagens Tek.

Med hensyn til **vedlikehold** er det vanlig å skille mellom utskiftninger av bygningsdeler eller overflatebehandling som er nødvendig ut i fra slitasje og degradering av materialene. Dette beskrives som teknisk levetid for elementene. I tillegg vet man at mye vedlikehold gjøres av grunner som skyldes estetiske forhold eller bruksendring av lokalene.

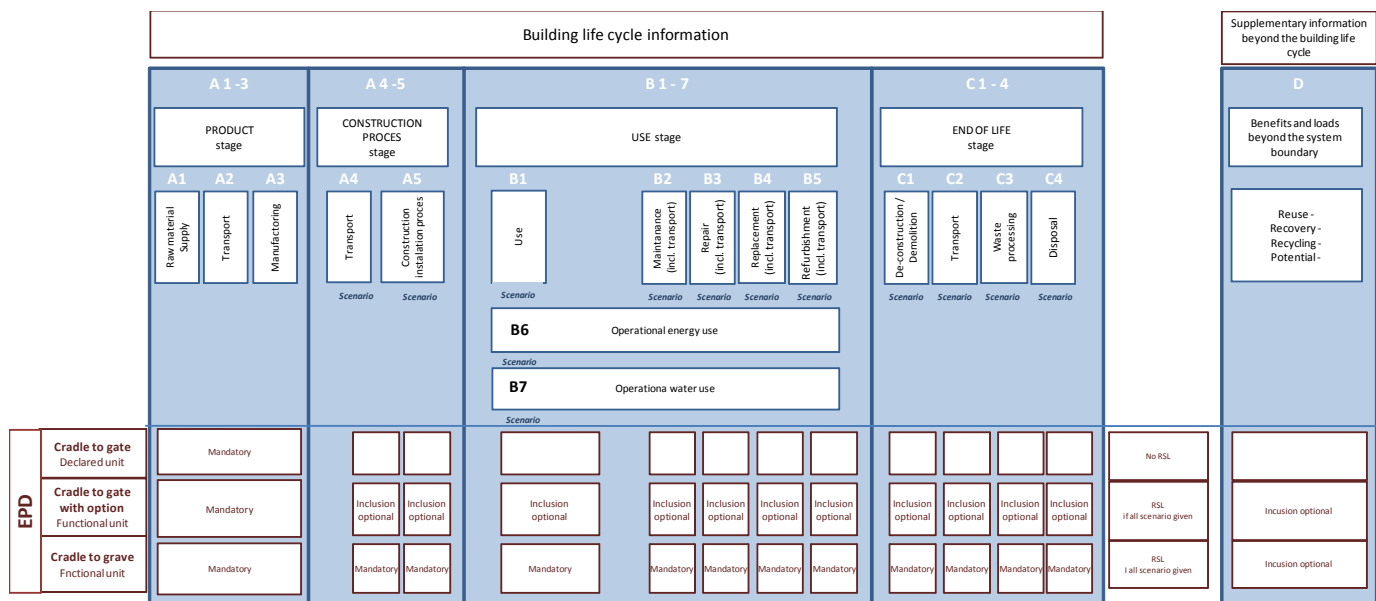
Utviklingsbehovet i ulike bygg vil variere mht type bygg. Bruken av byggverket kan være statisk over tid, for eksempel vil ny opera i Oslo høyst sannsynlig være opera i hele byggets livsløp. Andre typer bygg vil ha store endringsbehov over tid, for eksempel slik det er i moderne sykehus hvor det skjer endringer i helsetjenester, ny medisinsk teknisk utstyr etc. som vil kreve endringer i selve bygningsstrukturen. Det samme ser vi på terminalbygget på Gardermoen hvor det ikke har vært en dag siden åpningen uten at det har foregått et eller annet tilpasningsarbeid.

I kontorbygg er det generelt et stort behov for ombygging og flytting av vegger og tekniske installasjoner. Dette fordi landskap blir cellekontor (og omvendt), og behov for møterom/teamkontor endres. Bygget kan være mer eller mindre forberedt for dette etter bygging.

Perioden mellom hver ombygging kan betegnes "bruksperiode" (Service Life Periode - SLP), dvs. den periode hvor bruken stort sett er statisk. Om SLP skal vare hele byggets livsløp så er det ikke behov for tilpasningsdyktighet (TPD), for eksempel ny opera. Men der SLP er kort dvs. det skal stadig vekk endres så er det stort behov for tilpasningsdyktighet, for eksempel nytt sykehus eller private boliger hvor SLP kan være noe lenger, men hvor endring av familiestruktur skaper behov for endring av planløsningen.

Dette betyr at viktighet og omfang av de ulike fasene vil avhenge av både formålet med bygget og med type bygg.

Det pågår et internasjonalt arbeid med å definere "sustainable buildings". Figur 2.3 viser hvordan denne standarden illustrerer systemgrensene med tilhørende modulinndeling for prosesser og aktiviteter som inngår i livsløpet til bygg og byggevarer.



Figur 2.3 Systemgrenser og modulinndeling for livsløpet til byggevarer og bygg. Kilde: enPR 15804:2010.

Det er i forbindelse med dette arbeidet vil det bli innført et nytt begrep – Functional Equivalent – når en skal beregne miljøbelastninger fra hele byggverk og ikke bare byggematerialer. Funksjonell ekvivalent skal inkludere følgende parametre:

- Type bygning
- Relevante tekniske og funksjonelle krav (for eksempel lovbestemte og bestillers spesifikke krav)
- Bruksmønster
- Service life - brukstid

Det presiseres at standarden ikke sier noe om hvordan dette skal foregå, bare at det er et krav. Denne standarden er ikke klar, og ingen den gjennomgåtte litteratur har derfor benyttet det rammeverket som de nye standardene vil komme med.

2.4 EPD – Environmental Product Declaration - miljødeklarasjoner

ISO-standardene gir en veiledning i hva som bør inkluderes ved rapportering fra LCA-studier. Denne rapporten blir ofte omfattende - beskriver alt fra mål, metodikk, gjennomføring og resultater - og målgruppen er i stor grad aktører i egen virksomhet. Informasjonen er ofte ment som innspill til utvikling av innovasjons- og/eller markedsføringsstrategier internt. En har som konsekvens av det siste, sett et behov for å forenkle måten LCA-informasjonen kan presenteres på. Dette har medført utarbeidelse av en ISO-standard¹ for miljødeklarasjoner (EPD - forkortelsen EPD brukes både i norsk og internasjonal sammenheng). For byggevarerprodukter foreligger det også en egen standard – ISO 21930² - som bygger på ISO 14025:2006. I tillegg til behovet for å markedsføre og kommunisere resultater, blir denne type informasjon også benyttet til å foreta valg i innkjøpssammenheng av innkjøpere – enten eksterne eller interne.

Som beskrevet er det mange metodiske valg som må foretas ved utarbeidelse av LCAer. For å sikre sammenlignbarhet av EPDer, skal det utarbeides produktspesifikke regler (PCR – Product Category Rules) for den gitte produktkategorien som det analyserte produktet tilhører.

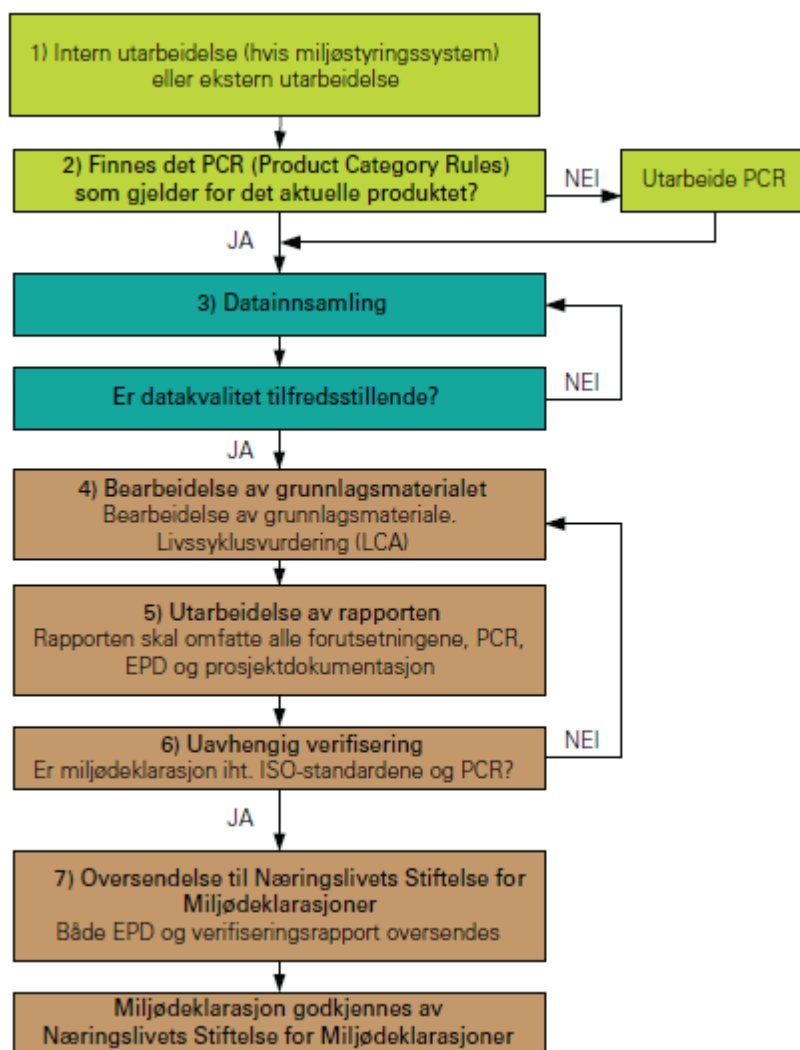
PCRer skal utvikles i et samarbeid med berørte parter; produsenter av konkurrerende produkter og andre aktører som har kunnskap om produktgruppen og dets livsløp, eller på annen måte vil benytte EPDene. På denne måte sikrer man at all informasjon og viktige aspekter knyttet til produktgruppens miljøegenskaper framkommer og hensyntas i beregningsmetodikk som beskrives i PCRene.

Det er nå et krav om at EPDer skal baseres på metodikk beskrevet i en PCR knyttet til den respektive produktgruppen for at EPDen skal kunne verifiseres og godkjennes. Likevel ser en at det innenfor byggevarer ikke eksisterer mange PCRer. Årsakene til dette er nok både det at det er en noe omfattende prosess å utvikle PCR og at bedriftene ikke har kjennskap til kravet om PCR når de starter arbeidet. Dette har gjort at men i en tidlig fase av EPD-utviklingen likevel har godkjent EPDer uten at det foreligger en PCR. Dette er nå innskjerpet og kravet fra Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner³ er at det skal foreligge en PCR for at EPDene skal godkjennes. Figur 2.4 viser framgangsmåten for utarbeidelse av EPDer.

¹ NS-ISO 14025:2006 Miljømerker og miljødeklarasjoner. Miljødeklarasjoner type III. Prinsipper og prosedyrer.

² ISO 21930 Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products.

³ Næringslivet Stiftelse for miljødeklarasjoner også kalt EPD-Norge, er det nasjonale programoperatørorganet (i hht ISO 14025) for EPDer i Norge. Mer info finnes på www.epd-norge.no.



Figur 2.4 Prosedyre for utarbeidelse av EPD (Grini et al. 2008).

3 Metodisk tilnærming

Litteraturstudien er gjennomført ved søk i vitenskapelige databaser (Springerlink, Sciencedirect, Google Scholar, EPD Norges database over miljødeklarasjoner). Litteratursøket er begrenset til studier som er basert på LCA som metodikk for beregning av klimabelastninger knyttet til bygg og byggematerialer.

I tillegg er følgende kriterier lagt til grunn for valg av litteratur:

- LCA av hele bygg
- LCA av lavenergibygging
- LCA av byggematerialer; stål, betong, glass, trebaserte, aluminium, isolasjonsmaterialer
- Ikke isolert valget til referanser som bare ser på klimaeffekter
- Ikke eldre enn 10 år

De mest relevante tidsskrifter for publisering av overnevnte temaer er:

- Building and Environment
- Energy and Buildings
- Construction and Building Materials
- Environmental Science and Policy
- Environmental Impact Assessment Review
- International Journal of LCA
- Journal of Infrastructure Systems

For hver enkel referanse er det foretatt en gjennomgang hvor følgende momenter kartlegges og dokumenteres:

Om studien:

- Forfatter
- Årstall for studie
- Tittel
- Referanse tidsskrift
- Oppdragsgiver
- Formål med studien

Design av studien:

- Type studie; dokumentasjon, design/planlegging
- Type bygg
- Hvilke LCA-metode/standarder refereres det til
- Hvilke produkter eller sammensatte byggevarer
- Funksjonell/deklarerert enhet
- Faser i livsløpet
- PLCA; I/O-LCA; Hybrid-LCA
- Hva inkluderes i de ulike faser; distribusjon ut til bruker
- Hvordan defineres service life
- Geografisk område

Gjennomføring av studien:

- Hvilket analyseverktøy anvendes
- Data; generisk vs database
- Historiske data, scenaribaserte
- Hvilken/hvilke elektrisitetsmodeller anvendes og hvilken CO₂-faktor benyttes
- Tas det høyde for karbonatisering
- Inkluderes avfallshåndtering/gjenvinning og hvordan
- Hvordan inkluderes bruk av gjenvunnet materialer i produktene
- Hvilke påvirkningskategorier er inkludert
- Hvilken karakteriseringsmetode brukes; IPCC/CML

Resultater beskrevet i studien:

- Resultater, herunder hvilke faser som er viktige
- Andre miljøaspekter som diskuteres
- Diskuteres begrensninger/svakheter med analysen?

På bakgrunn av gjennomgang av litteratur som beskrevet over, er det videre foretatt en analyse på tvers alle studiene med fokus på å forklare hvilken metodisk plattform de ulike studiene er basert på, for derigjennom å forklare hvorfor resultater spriker og/eller eventuelt ikke er sammenlignbare.

For å illustrere dette, er det tatt utgangspunkt i to påstander som uttales i samfunnsdebatten om miljøbelastninger knyttet til byggematerialer og bygg gjennom levetiden;

1. Klimabelastning av dagens byggverk er knyttet til driftsfasen
2. Ved lavenergibygging blir produksjonsfasen like viktig som driftsfasen

Det metodiske fundamentet som er brukt i de ulike studiene, forklares deretter opp i forhold til de to påstandene. I tillegg foretas det en vurdering av hva litteraturen mener er svakheter ved metodikk, manglende kunnskapsbasis og forslag til forbedringer for å foreta en god vurdering av byggverks miljøbelastninger gjennom levetiden. Tilslutt foretas det en oppsummering av klimabelastning knyttet til ulike byggematerialer med fokus på hvordan disse produseres og hvilke utfordringer det er og hensyn en må ta når en gjennomfører LCA for disse materialene alene eller som en del av et helt bygg.

4 Resultater

Litteraturgjennomgangen viser funn av relevant LCA-studier primært i vitenskapelige tidsskrifter, EPD'er og noen fagrapporter. Resultatene fra litteraturstudien er systematisert i tre deler:

I delkapittelet om Klimabelastninger for ulike materialer diskuteres hvor i livsløpet klimabelastninger oppstår for hvert materiale og hvilke utfordringer som oppstår på materialnivå knyttet til beregninger av klimabelastninger og sammenligninger av studier

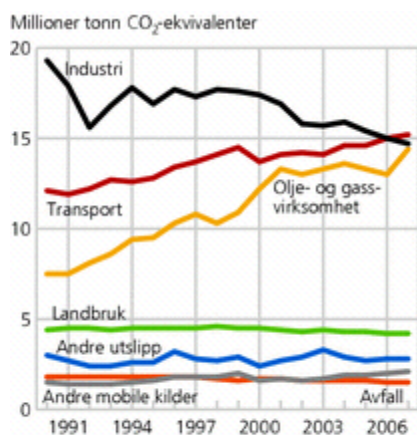
I neste delkapittel diskuteres hypotesen om at det er bruksfasen som gir de største miljøbelastningene knyttet til bygg og byggematerialer.

Deretter drøftes en påstand om at i lavenergibygg blir produksjonsfasen like viktig som bruksfasen

4.1 Klimabelastninger for ulike materialer

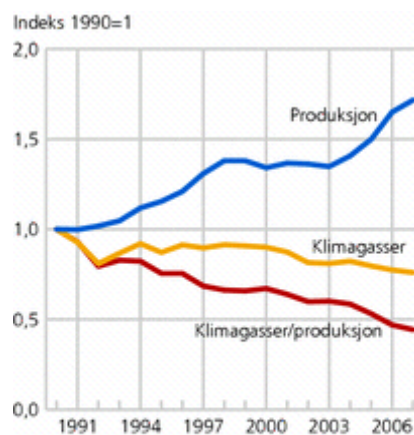
Hensikten med dette kapittelet er å indikere hvor i livsløpet det er høyest klimabelastninger i hvert byggematerialers livsløp, å peke på utfordringer knyttet beregninger av klimagassutslipp og å diskutere eventuelle andre miljøbelastninger som er relevante.

Før en går inn på hvert enkelt materiale, er et interessant bakteppe utviklingen av klimagassutslipp fra ulike sektorer har hatt i Norge de senere år. Figur 4.1 viser at klimagassutslippene fra industri er redusert i perioden 1991-2006. I tillegg viser Figur 4.2 at klimagassutslipp per produsert mengde har gått ned i samme periode. Dette gjelder industri generelt, men vil også i stor grad være gyldig for materialprodusenter innen byggenæringen; per produsert enhet har klimagassutslippene blitt redusert. Dette får betydning nå en skal vurdere byggematerialer LCA-studier i forhold til hvilket datagrunnlag en benytter. Forhold som hvilket årstall data er hentet fra og om man benytter stedsspesifikke (les: produsentspesifikke) data eller ikke vil kunne ha stor betydning for resultater.



Kilde: Utslppsregnskapet til Statistisk sentralbyrå og Statens forurensningstilsyn.

Figur 4.1 Utviklingen av klimagassutslipp fra ulike sektor i perioden 1991 – 2006. Kilde: SSB og KLIF.



Kilde: Utslppsregnskapet til Statistisk sentralbyrå og Statens forurensningstilsyn.

Figur 4.2 Utviklingen av klimagassutslipp sett i forhold til produksjonsmengde i perioden 1991 – 2006. Kilde: SSB og KLIF.

Når byggematerialer skal vurderes, er det en tendens til å klassifisere materialene ut ifra hovedstrukturen i bygget. I realiteten er det som regel mange ulike materialer som inngår, og som i sammensetning utgjør miljøpåvirkningen bygget har totalt. Dermed blir det i sammenligninger mellom materialer ofte uklart hvilken sammensetning av materialer som gir den beste løsningen med lavest energibruk og lavest CO₂-utslipp (Fernandez 2008).

En byggevares klimapåvirkning påvirkes i stor grad av følgende faktorer:

- Byggevarens påvirkning på et byggs totale energibruk i bruksfasen (isolasjonsevne). Studier der det er tatt hensyn til energibruk i bruksfasen konkluderer i stor grad med at klimabelastningen er størst i bruksfasen (Gerilla et al., 2005, Zhang et al., 2007, Haapio et al., 2008b, Gonzales og Navorro, 2006, Guggemos og Horvath, 2005, Bribián et al., 2009, Ortiz et al., 2009). Unntaket er moderne lavenergibygninger der materialvalg har større betydning (Treloar et al., 2001, Yohanis og Norton 2002, Hubermann og Pearlmutter, 2008, Sartori og Hestnes, 2007).
- Bygget og byggevarens levetid (utskiftninger og vedlikehold) (Haapio og Viitaniemi, 2008, Klunder 2002, Erlandsson og Borg, 2003).
- Om produktet er gjenvinnbart eller ikke, og om det er produsert av jomfruelige materialer eller resirkulerte materialer (Peterson og Solberg, 2002).

4.1.1 Tre

Treverk inngår som råmateriale inn i flere typer byggeprodukter som bjelker/bærende konstruksjoner, gulv, panel, sponplater vinduer, dører og lignende.

Studier på klimabelastninger gjennom livsløpet til byggematerialer av tre som tar hensyn til energibruk til bygget, viser energibruk i bruksfasen representerer den største klimabelastningen (Gerilla et al., 2007). Avhendingsfasen kan ha stor klimapåvirkning, avhengig av om det antas at treverket benyttes til energiutnyttelse, og om gevinsten ved at den genererte energien erstatter en annen energibærer. Antagelsen om hvilken energibærer som erstattes, gir stort utslag og kan være avgjørende for om tre kommer ut bedre eller dårligere enn andre byggematerialer (Petersen og Solberg, 2002).

På EPD-Norges hjemmesider ligger det miljødeklarasjoner på flere byggeprodukter av tre, som I-bjelke, trepanel, trekledning, massivtreelement og limtrebjelke. EPD for innvendig kledning som inkluderer med hele livsløpet med funksjonell enhet 1m² i 30 år, gir transport de største klimabelastningene, dernest produksjon av produktet (Grini, 2010). I EPD for I-bjelke (lettbjelke) der den funksjonelle enheten er 1 løpemeter over 60 år, bidrar råmaterialer, produksjon og transport mest til klimabelastningene over produktets levetid (Wærp, 2009). Bruksfasen omfatter da vedlikehold av bygget og ikke energibruk av bygget i bruksfasen. Det betyr at det faktiske totale energibruk og miljøbelastninger er høyere enn gitt i EPDen, men fordi det ikke er konsensus om hvordan drifts-/levetidsscenarioer skal utvikles, er dette ikke inkludert i de fleste EPDer i dag.

I studier der tre sammenlignes med andre byggematerialer, kommer tre i stor grad bedre ut enn mange andre materialer når disse vurderes fra vugge til port (Petersen og Solberg, 2002, Petersen og Solberg 2005, Werner og Richter 2007, Sathre og O'Connor 2010). Som hovedregel tar ikke disse

studiene hensyn til energibehov i bruksfasen at ulike materialløsninger kan gi ulike vedlikeholds- og energibehov i bruksfasen til bygget.

Uttak av råmaterialer og produksjon

Tre er et naturlig og fornybart råmateriale som vil variere i egenskaper og kvalitet fra tresort til tresort hogststed (klima) og andre utenforstående faktorer.

Trær har en viktig rolle i økosystemet, ved at det tar opp CO₂ fra atmosfæren. Dette kan medføre komplekse problemstillinger knyttet til opptak og lagring av CO₂, biologisk mangfold og optimal skogutnyttelse.

Bruksfase

Tre blir i stor grad påvirket av fukt og kondens, og det er vanlig at materialet må vedlikeholdes i løpet av byggets levetid for å hindre vanninntregning.

Avfallshåndtering

Treprodukter kan gjenvinnes som CO₂-nøytral bioenergi. I studier der avfallshåndtering av byggematerialer av tre er inkludert, og der substitusjon av annen energibærer ved energiutnyttelse inkluderes (sparte klimagassutslipp ved å unngå å produsere energi på annen måte), har denne livsløpsfasen stor betydning (Gustavsson og Sathre, 2006). Generelt i LCA med avfallsscenarioer der det forutsettes at en annen energibærer erstattes, har forutsetningen om hvilken energibærer som erstattes stor innvirkning på resultatet (Raadal et al., 2009). Her vil det for eksempel være stor forskjell på om det som erstattes er gjennomsnittlig elektrisitetsmiks eller fjernvarmemiks, eller om en har en marginalbetraktning og at det forutsettes at det er oljefyring som erstattes. Forutsetningen om hvilken energibærer som erstattes kan være avgjørende for om tre har mindre klimabelastning enn et annet materiale (Petersen og Solberg, 2002).

Brenning av trevirke etter bruk kan forårsake høyere påvirkning på miljøkategoriene forsurening og overgjødning (eutrofiering) enn andre byggematerialer til tross for at energien utnyttes. I studier der det forutsettes at trevirke sendes til deponi etter bruk, gir dette store metanutslipp og kan ha stor påvirkning på resultatene (Werner og Richter, 2007). I Norge er det ikke lengre lov å deponere slikt materiale, og byggematerialer vil forbrennes eller gjenvinnes/gjenbrukes. Dersom brukte treprodukter benyttes inn i nye trebaserte produkter som for eksempel spon- og fiberplater (heltre også gjenbrukes til nye produkter), vil man i LCAen for det nye produktet ikke inkludere miljøbelastningen for uttak av skogvirke for den gjenvunne innsatsfaktoren.

Impregnering av trevirke kan medføre høyere belastning for toksiske effekter og/eller fotosmog (Werner og Richter, 2007). Mesteparten av avhendet trevirke er behandlet med enten kreosot eller salter av tungmetaller og er derfor farlig avfall, og skal ikke blandes sammen med annet avfall. Nytt impregnering trevirke som er kobberimpregnering er ikke farlig avfall, men det er svært vanskelig å skille fra annet impregnering trevirke. Det leveres derfor per i dag inn som farlig avfall (Klif 2011).

LCA-tekniske utfordringer knyttet til tre som byggemateriale

CO₂ som er tatt opp av treet under vekst, og som senere slippes ut i atmosfæren når treet sendes til energiutnyttelse etter bruk kalles biologisk CO₂ (i motsetning til fossil CO₂), og er ofte ikke inkludert i beregningene. Dette kan begrunnes med at CO₂ som tas opp allerede er i atmosfæren og vil før eller

siden slippes ut igjen. Dermed øker ikke andel CO₂ i atmosfæren og den naturlige syklusen forstyrres ikke.

Dersom biologisk CO₂ inkluderes i LCA, vil dette ha stor innvirkning på resultatene (Lyng et al., 2010). Det kan forandre konklusjonen ved sammenligning av materialer der en ikke har opptak av CO₂ i livsløpet. Det er knyttet en del usikkerhet til opptak og utslipp av CO₂ i skog, som blant annet avhenger av omløpstiden til skogen (Nilsen et al., 2008).

Det er etablert et forskningsprosjekt – KlimaTre, med om lag 40 deltagende partnere fra forskning og næringsliv. Prosjektet startet opp i 2010 og går over en fire-års periode. Det finansieres av Norges forskningsråd, Skogtiltakfondet, Treforedlingsindustriens Bransjeforening, Fondet for Treteknisk forskning / Treindustrien samt av deltagende bedrifter. Prosjekteier og leder av styringsgruppen er Norges Skogeierforbund. Treteknisk er prosjekt koordinatør.

Hovedmålet til prosjektet er å dokumentere hvilken betydning de skogbaserte verdikjedene i Norge har for klima og verdiskaping, samt å utvikle morgendagens miljøvennlige løsninger for trebyggeri gjennom økt kunnskap om trekonstruksjoners miljøpåvirkning i et livsløpsperspektiv. Karbonopptak knyttet til byggematerialers livsløp vil bli utredet i dette prosjektet.

4.1.2 Betong

Betong brukes ofte i bærende konstruksjoner (søyler og bjelker), etasjeskillere, dekker og veggelement.

Studier på betongprodukter i bygninger som tar hensyn til byggets energibruk i bruksfasen viser at de største klimabelastningene oppstår i bruksfasen til bygget (Gerilla et al., 2007, Zhang et al, 2007, Guggemos og Horvath, 2005). Studier av nye bygg viser at dersom byggene er energieffektive, kan råvareuttak og produksjon ha like stor klimapåvirkning som bruksfasen (Hubermann og Pearlmutter 2008).

På EPD Norges hjemmesider finnes det miljødeklarasjoner av flere ulike betongprodukter, som hulldekkeelement, betongbjelke og veggelement. Både EPD for hulldekkeelement med funksjonell enhet 1m² og EPD for armert betongbjelke og for DT-element med funksjonell enhet 1 tonn viser at den største klimapåvirkningen oppstår ved produksjon av råvarer (Vold 2007, Schakenda 2010, Vold 2010). Alle tre deklarasjonene omfatter hele levetiden til produktene, men inkluderer ikke energibruk til drift av bygget.

En annen analyse av sement fra krybbe til port viser at det er stor variasjon i utslipp av klimagasser fra ulike sementprodusenter, og at klinkerproduksjonsprosessen gir størst belastning i produksjonen (Chen et al. 2010).

Råvareuttak og produksjon

Betong består av sement, vann, sand, stein og tilsetningsstoffer og dannes ved at sementen reagerer kjemisk med vannet gjennom hydratisering. Sement lages av kalkstein som males og brennes i store ovner til klinker, noe som fører til et høyt forbruk av energi. Klimabelastningen fra produksjon av

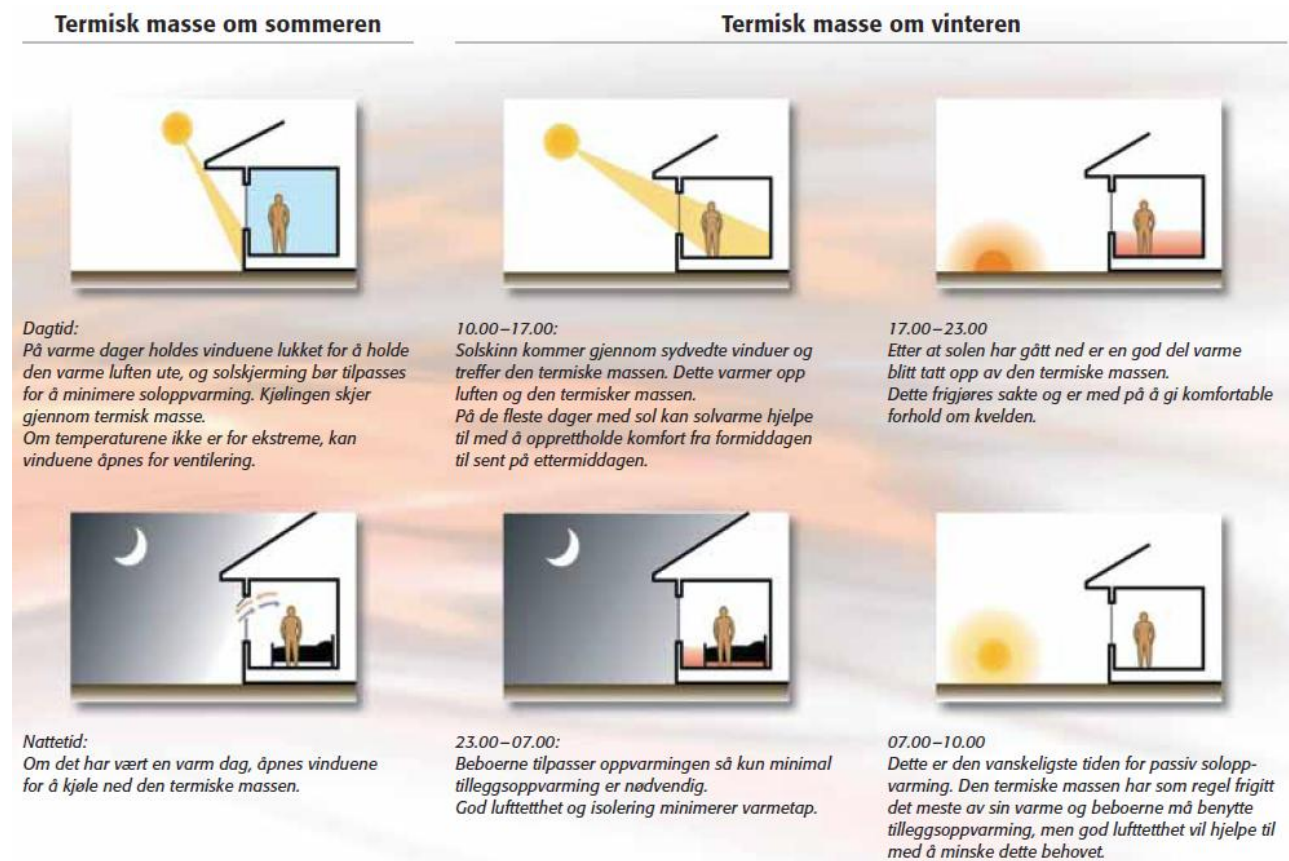
betong er derfor avhengig av energibærer (Hubermann og Pearlmutter, 2008). Under oppvarmingsprosessen slippes det i tillegg ut CO₂ fra råmaterialene, noe som fører til at deler av klimabelastningene er direkte prosessutslipp.

Deler av klinkeren i sement kan erstattes med alternative råvarer som kalksteinsmel og flyveaske. I PCR for betong defineres kalksteinsmel og flyveaske som materialer som resirkuleres fra et annet system. Det er mulig å bruke resirkulert betongaggregat inn i produksjonen, men klimagevinsten av dette er ikke godt utredet og kan i stor grad avhenge av hvor langt de gjenbrukte materialene transporteres (Marinkovic et al., 2010). I EPD defineres produksjonen av gjenbrukte materialer å tilhøre forrige produktsystem, og miljøbelastningene knyttet til produksjon av disse materialene vil da ikke inkluderes i EPD'en for det deklarererte betongproduktet. Dette vil gi en gevinst for produsenter som gjenbruker materialer sammenlignet med produsenter som ikke gjør det.

Det pågår et industriprosjekt for CO₂-fangst i Norge i regi av Norcem, HeidelbergCement, ECRA (European Cement Research Academy) og Tel-Tek (CCS-forskningsinstitutt). Prosjektet skal utrede muligheten for å bygge et småskala fangstanlegg for CO₂ hvor det skal prøves ut ulike fangstteknologier for å finne den mest optimale for sementindustrien. Det forventes oppstart av fangstanlegget i 2013. Målet er på sikt å oppskalere til 100.000 t CO₂/ år.

Bruksfase

Betongprodukter har lang levetid og trenger lite vedlikehold. Betong er dessuten et tungt byggemateriale og har potensial for å lagre varme og en termisk treghet. Det betyr at varme fra aktiviteter i bygget (oppvarming, lys og menneskelige aktiviteter) kan lagres i betongen og frigis når temperaturen synker. Tas det hensyn til dette i en analyse, vil energibehovet for varming og kjøling til bygget i bruksfasen reduseres, som vist i Figur 4.3. Disse egenskapene benyttes til passivhus/aktivhus. Det er nødvendig med god styring av oppvarming, kjøling/ventilasjon, solavskjerming og nattkjøling i slike bygg.



Figur 4.3 Illustrasjoner av effekt termisk masse har på oppvarmings- og kjølebehov. Kilde: ByggUtenGrenser.

Avfallshåndtering

Betong har liten grad av klimagassutslipp i avhendingsfasen, da det er et inert materiale som brytes ned i et veldig lavt tempo. Mesteparten av massene fra riving anses også som rene. Slike masser kan egne seg til utfyllingsformål på deponier, veier, grøfter, parkeringsplasser eller kan brukes i ny betong. Betong- og tegl kan imidlertid være forurenset av miljøgifter. Avfall som inneholder vesentlige mengder miljøgifter som PCB og andre farlige stoffer egner seg som regel ikke til gjenbruk.

LCA-tekniske utfordringer knyttet til betong som byggemateriale

I et miljøperspektiv fokuseres det ofte på utslipp av CO₂ ved produksjon av sement. Imidlertid vil mye av CO₂ tas opp igjen i materialet gjennom det som kalles karbonatiseringsprosessen.

Karbonatisering er en kjemisk reaksjon mellom herdet betong og karbondioksid. Prosessen foregår i all betong som er eksponert for karbondioksid, det vil si at reaksjonen ikke foregår på betong under vann eller betong påført et lufttett sjikt

Det er imidlertid vanskelig å måle CO₂-opptaket i betong og en rekke faktorer er avgjørende, som betongtetthet, type sement, klima, temperatur, fuktighet, tid osv. Dersom betongen knuses ned i en gjenvinningsprosess og betongen eksponeres og gjenbrukes, vil opptaket av CO₂ øke grunnet større overflate (Pommer og Pade, 2005, Collins, 2010). Resultatene spriker fra 13 til 70 % CO₂-opptak i betong over en 100 års levetidsbetraktning. Det skyldes bla usikkerhet omkring

karbonatiseringshastigheten ved ulike randbetingelser som beskrevet. Mekanismen er det ingen tvil om - betong karbonatiserer - men kinetikken er ikke fullstendig kartlagt og det pågår stadig forskning og analyser på feltet. Ser man derimot over et langt nok tidsperspektiv vil all betong karbonatisere fullstendig dvs. all CaO i betongen vil ta opp CO₂ fra luft eller vann og danne CaCO₃. Collins anbefaler å ta hensyn til karbonopptak ved LCA av betongbygg ved å beskrive scenarier for avfallshåndtering og knusing av betong etter byggets levetid.

4.1.3 Stål

Stål inngår i byggeprodukter som bærende konstruksjoner/bjelker og armering i betong. Stål er ofte et bærende materiale i bygget, og anses ofte dermed ikke å være direkte knyttet til energibruk i driftsfasen.

Analyser av stålkonstruksjoner som inkluderer energibruk under drift av bygget viser at byggets bruksfase har størst klimapåvirkning av livsløpsfasene (Zhang et al., 2007, Guggemos og Horvath, 2005).

På EPD Norges hjemmesider finnes det flere miljødeklarasjoner av stålkonstruksjoner. Disse presenterer klimagassutslipp over hele levetiden med funksjonell enhet 1 kg stål i 60 år, og viser at uttak av råvarer representerer den største klimabelastningen. Det er her ikke inkludert noen aktiviteter i bruksfasen (Fossdal 2007a, Fossdal 2007b, Fossdal 2007c).

For studier som tar hensyn til andel gjenvunnet materiale i produktet, og gjenvinning av produktet etter bruk, har dette stor innvirkning på total klimapåvirkning. Dersom gevinsten ved at stålprodukter som sendes til gjenvinning inkluderes i analysen ved at stålet erstatter helt eller delvis jomfruelig malm, kan dette være avgjørende for om stål gir lavere klimagevinst enn andre byggematerialer (Petersen og Solberg, 2002).

Råvareuttak og produksjon

Stål produseres enten fra jomfruelig jernmalm eller fra skrapjern og er en legering med jern og karbon som primære legeringselementer. Omtrent 50 % av stålfremstillingen i verden er basert på resirkulert materiale, og jernmalm brukes bare for å fylle opp for den økende etterspørselen (Eurofer, 1995).

Fremstilling av stål krever en del energi, og klimabelastning fra stålproduksjon er derfor sterkt avhengig av energibærer. I tillegg har det stor betydning om produktet er produsert fra gjenvunnet materiale eller jomfruelig malm. Det har stor betydning på resultatene om det antas at denne erstatter gjenvunnet stål, jomfruelig stål eller en miks. (Petersen og Solberg, 2002).

Per i dag oppfattes ikke jern som en begrenset ressurs.

Bruksfase

Stål er et bestandig materiale med lite behov for vedlikehold. Materialet er dessuten et materiale som ikke brenner, trekker vann, sveller, krymper eller vrir seg. (Norsk stålforbund, 2011).

Avfallshåndtering

Bærende konstruksjoner i stål kan demonteres. Erfaringer viser at nesten alt stål blir samlet inn ved riving av bygg (Eurofer 1995). Metallet kan gjenvinnes og brukes enten i nye byggekonstruksjoner eller i andre materialer. Metallet degraderes ikke ved gjenvinning og det kan derfor gjenvinnes flere ganger.

I studier som tar hensyn til at stål som sendes til gjenvinning erstatter jomfruelig eller delvis jomfruelig materiale (gevinst for unngåtte utslipp), har dette stor betydning for resultatene (Petersen og Solberg, 2002).

LCA-tekniske utfordringer knyttet til stål som byggemateriale

Innsamling av spesifikke data hos stålprodusenter er ofte vanskelig, da bransjen har inngått en avtale om at det bare skal oppgis data for hele bransjen. Dette gjør at analyser på stål som byggemateriale i stor grad er basert på gjennomsnittlige data. I mange tilfeller kan ikke innkjøpere vite hvilken leverandør stålet kommer fra. LCAstudier av betong og tre benytter i større grad spesifikke data.

4.1.4 Aluminium

I bygningsindustrien brukes aluminium til tak- og veggbekledning, vindus- og dørkarmen, bærende profiler, men også til innredninger og dekorative formål.

Det er under litteratursøket funnet få studier som tar for seg LCA av aluminium som byggemateriale.

Råvareuttak og produksjon

Av de mest brukte metallene er jomfruelig aluminium det mest energikrevende å fremstille. Omtrent 50 % av aluminiumproduksjonen er i dag basert på jomfruelig materiale grunnet stor etterspørsel. Ved gjenvinning kreves bare 5% av energien som brukes til elektrolyse av primæraluminium. Dette fører til at resirkulert aluminium er betydelig mer miljøvennlig enn jomfruelig materiale (Aleris 2011).

Elektrolyseprosessen i aluminiumsproduksjon frigjør CO og CO₂, i tillegg til enkelte fluorholdige gasser. Fluorforbindelsene er miljøskadelige og i dag er det teknologi som fjerner mest mulig fra avgassene. Før effektive renseanlegg ble operative, så en eksempler på at skader ble påført fabrikkens omgivende vegetasjon (f.eks. rundt Årdal) (Store Norske leksikon, 2011).

Bruksfase

Aluminium har god korrosjonsmotstand og holdbarhet og krever lite vedlikehold. I kontakt med luft dannes det et tynt oksidasjonsjikt på overflaten som gjør at aluminium i mindre grad er utsatt for korrosjonsproblematikk.

Avfallshåndtering

På samme måte som for stål kan aluminium gjenvinnes og bli til nye produkter ubegrensede ganger, uten at kvaliteten blir dårligere. Når aluminium smeltes om, forsvinner kun noen få prosent av metallet.

LCA-tekniske utfordringer knyttet til aluminium som byggemateriale

I likhet med stål, er innsamling av spesifikke data hos aluminiumsprodusenter ofte en utfordring, da bransjen har inngått en avtale om at det bare skal oppgis data for hele bransjen. Dette gjør at analyser på aluminium som byggemateriale i stor grad er basert på gjennomsnittlige data. I mange tilfeller kan ikke innkjøpere vite hvilken leverandør stålet kommer fra. LCAstudier av betong og tre benytter i større grad spesifikke data.

4.1.5 Glass

Glass brukes i byggematerialer som vinduer, fasader og isolasjon.

Uttak av råvarer og produksjon

Glass lages av sand, soda og kalk og krever høy energibruk under produksjon (omtrent 1500 grader celsius), noe som kan medføre høye klimabelastninger i produksjonsfasen, avhengig av energibærer.

Bruksfase

Materialets påvirkning i bruksfasen avhenger av hvilket byggeprodukt materialet inngår i og hvilke egenskaper materialet har. Glass krever lite vedlikehold og kan ha ulike egenskaper som ulik isolerende effekt (isolerglass) og redusert kjølebehov (soldemping). Plassering av vinduer og glassfasader i forhold til sol kan ha stor innvirkning på klimapåvirkning.

Riktig valg av produkt kan redusere en bygnings totale klimabelastning i bruksfasen. Høyeffektive dobbeltglass gir lavere oppvarmingsbehov og dermed energibruk og dermed lavere klimabelastning enn vanlige enkelt- og dobbeltglassvinduer (Blom et al., 2010).

Avfallshåndtering

Det er vanlig å gjenvinne glass, og det sorteres da etter kvalitet (farge og renhet). Høykvalitets glass sendes til glassverk i Europa, mens glass med lavere kvaliteter kan gå til isolasjon, glassbetong eller skumglass i lette fyllmasser ved veibygging, idrettsanlegg og grunnarbeider (Norsk Glassgjenvinning 2011).

4.1.6 Isolasjonsmaterialer

Isolasjonsmaterialer finnes i mange varianter, som glassull, steinull og polymerbaserte materialer som ekspandert polystyren (EPS), ekstrudert polystyren (XPS) og polyuretan (PUR). I de senere år er det også blitt introdusert bio-baserte isolasjonsprodukter.

For isolasjonsmaterialer vil bruksfasen av bygget representere den største klimapåvirkningen, siden funksjonen til materialet direkte er knyttet til energibruk i bygget (Schmidt et al., 2004, Papadopoulos og Giama, 2007). Resultatene ved sammenligning av isolasjonsmaterialer avhenger derfor i stor grad av den funksjonelle enheten, om den for eksempel er knyttet til per kg isolasjonsmateriale, eller om den er knyttet til isolasjonsevne over en definert levetid (Schmidt et al., 2003).

Råvareuttak og produksjon

Klimabelastning knyttet til produksjon av isolasjonsmaterialer – vugge til port – er spesielt avhengig av type og mengde energibærer og grad av gjenvunnet materialer (ikke-jomfruelige) som benyttes.

Bruksfase

Isolasjonsprodukter har en positiv egenskap ved at de i seg selv påvirker energibruk i bygninger positivt ved å redusere energibehov til oppvarming og evt. kjøling.

Avhending

Isolasjonsmaterialer kan benyttes som fyllmasse i konstruksjoner etter bruk, sendes til energiutnyttelse eller gjenvinnes, avhengig av materialtype. Klimabelastning fra avfallshåndtering av isolasjonsmaterialer er avhengig av materialtype og avfallshåndteringsmåte.

4.2 Er klimabelastning fra dagens byggverk knyttet til driftsfasen?

Resultater fra LCA-studier viser at driftsfasen er dominerende når det gjelder energibruk og energirelaterte utslipp knyttet til byggverk sett over levetiden. Og en finner at energibruk i driftsfasen står for 70 – 90 prosent over levetiden. Dette er en gjennomgående konklusjon i litteraturen og det er en påstand som verifiseres enten man ser på tunge eller lette byggverk og er dermed "materialuavhengig" (Rønning et al. 2001, Vold et al. 2006, Fernandez 2007, Barrett og Wiedmann 2007, Rønning et al. 2007, Dimoudi and Tompa 2008, Bribián et al., 2009, Ortiz et al., 2009).

Hva påvirker den relative forskjellen mellom produksjons- og driftsfasen?

Den relative forskjellen mellom energibruk i driftsfasen og produksjonsfasen, påvirkes av flere faktorer. En kan grovt skille de i tre kategorier – LCA-metodiske, lokaliserings- og byggtekniske forhold. M.a.o. geografiske og klimamessige forhold knyttet til byggenes beliggenhet, byggtekniske forhold som bl.a. type bygg, byggets utforming, plassering i terreng, behov for oppvarming/kjøling, bruksmønster er noen av de forhold som vil påvirke energibruket i driftsfasen. Dette er faktorer som i liten grad er underlagt simulering eller diskusjon i studiene, men som ansees som rammebetingelse for det gitte studiet. Det er de LCA-metodiske aspekter som problematiseres.

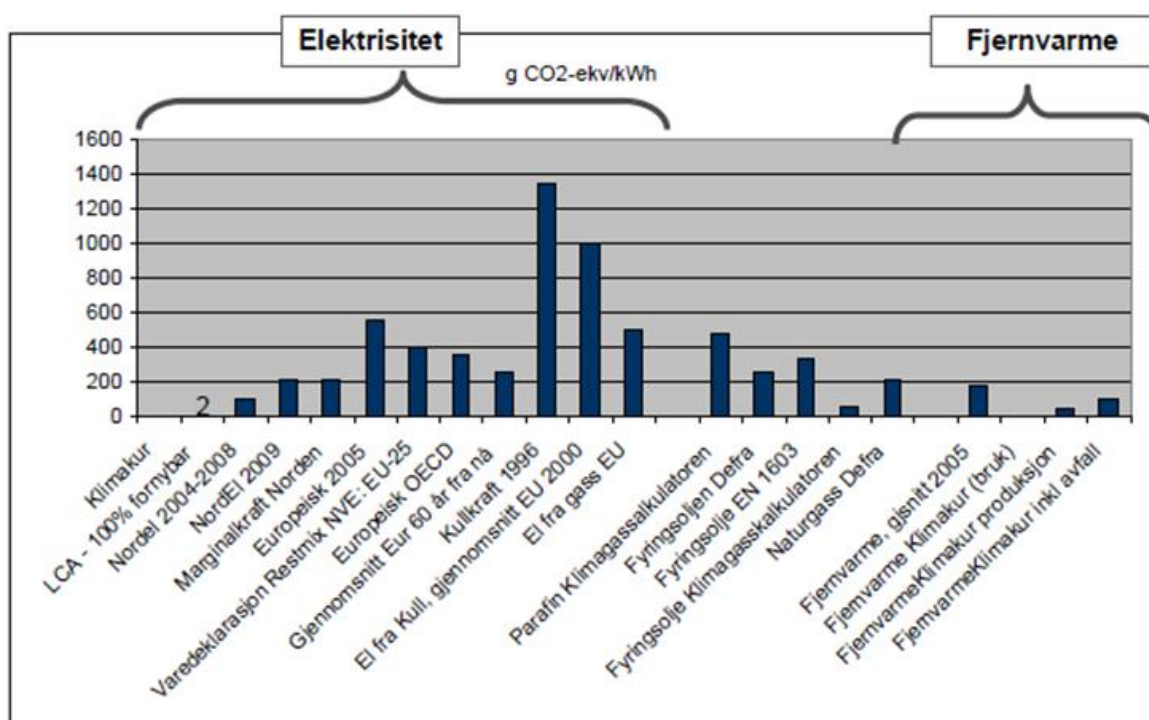
Tidsaspektet som legges til grunn i LCA-studier har stor betydning for det relative forholdet mellom energibruk i produksjons- vs. driftsfasen. Tidsaspektet studien er underlagt, varierer betydelig fra 20 – 100 år. Den definerte bruksperioden har stor innvirkning på klimabelastning (Haapio og Viitaniemi, 2008, Klunder, 2002).

Hvilket **datagrunnlag** som benyttes er av stor betydning for resultatene. Først vil vi trekke fram betydningen av type LCA. Ved amerikanske studier av bygg benyttes i stor grad input-output- eller hybrid-LCA (Guggemos and Horwath 2005, Sharrad et al. 2008, Treloar et al. 2001). Det betyr at man anvender i/o-data for produksjons-, konstruksjons- og avhendingsfasen, men anvender informasjon om faktisk forbruks-/aktivitetsdata med tilknyttende utslippsdata for bruksfasen.

Begrunnelsen for dette er todelt. Først at det hevdes at man ikke inkluderer alle miljøbelastninger ved å anvende den tradisjonelle P-LCA (Process-LCA). I/O LCA for typiske amerikanske industrinæringer indikerer at i gjennomsnitt inkluderes 75 prosent av de totale utslipp ikke i regnskapet hvis en bare ser på massebalansen knyttet til de direkte utslippene fra bedriften og ikke inkluderer indirekte utslipp knyttet til industribedriftens kjøp av tjenester fra andre næringer med mer (Matthews et al. 2008).

Deretter at det i tidligfaseplanlegging ofte er mangel på data for hvor store mengder av de ulike materialene som vil gå med i byggeprosjektet. Og siden P-LCA tar utgangspunkt i vekten/mengden av ulike materialer, har man valgt å legge til grunn økonomiske kalkyleberegninger og anvende miljøbelastninger knyttet til I/O-modellene som datagrunnlag (Guggemos and Horwath 2005, Sharrad et al. 2008, Rønning et al. 2008).

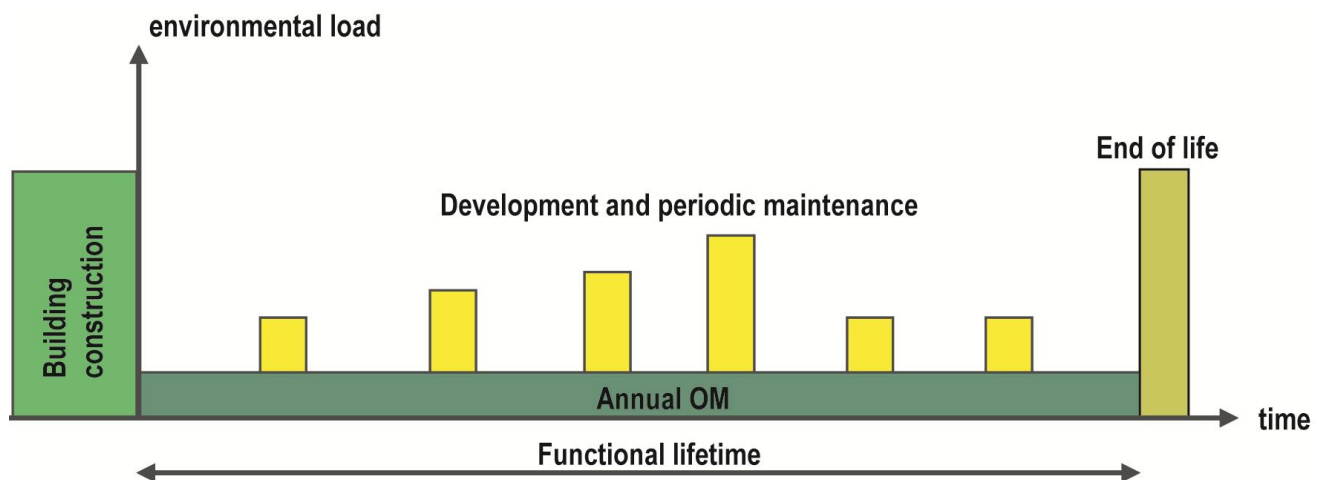
Ser en på **klimagassutslipp**, er valg av energimodell, herunder hvilke energibærere antas bruk for å produsere den brukte **elektrisiteten**, varierer det relative forholdet mellom fasene betydelig. Figur 4.4 viser variasjon i klimagassutslipp for ulike elektrisitetsmodeller (Nereng 2010).



Figur 4.4 Variasjon i klimagassutslipp for ulike elektrisitetsmikser. Kilde: Nereng (2010).

Dette viser at valg av elektrisitetsmodell vil kunne "velte" konklusjonen om at driftsfasen bidrar mest slik som for energibruk, ikke nødvendigvis gjelder når en ser på klimagassutslipp. Det viser viktigheten av å foreta vurdering av bygg ikke bare på bakgrunn klimagassutslipp hvis en ønsker et helhetlig informasjonsgrunnlag.

Forståelse og bruk av begrepet "driftsfase" er ikke entydig. Figur 2.3 viser de faser som anbefales inkludert når en ser på hele bygg over livsløpet, og Figur 4.5 illustrerer en typisk miljøprofil som resultat av en LCA (Rønning et al 2007). Fasene er definert i forhold til FDVU-begrepet – Forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling av byggverket og i tillegg inkluderes avhendingsfasen.



Figur 4.5 Livsløpsfaser for et bygg over dets levetid. Kilde: Rønning et al. 2007.

I noen studier benyttes begrepet kun til energibruk til oppvarming og kjøling (Blengini et al., 2009). Andre studier inkluderer også belysning og bruk av teknisk utstyr evt. husholdningsprodukter (Scheuer et al. 2003). En kan i det første tilfelle stille spørsmål om belysning og teknisk utstyr likevel er inkludert, uten at det vises eksplisitt, siden det ofte er vanskelig å formålsfordele energibruket.

Andre driftsmessige forhold som for eksempel rengjøring og ettersyn av teknisk anlegg er i utgangspunktet definert som en del av driftsfasen. Dette er i liten grad inkludert i analyser, samtidig som en ser at byggets utforming og material- og utstyrvalg kan ha stor betydning for omfang av og type renhold som er nødvendig (Rønning et al. 2008).

Også for begrepene ”**hele livsløpet**” eller ”**gjennom hele levetiden**” er det ingen entydig forståelse eller bruk, ei heller diskusjon.

Tidsaspektet eller bruksperioden – definert som Service Life Periode (SLP) – er viktig både i forhold til å definere vedlikeholdsbehov og endringsbehov. Produsenter oppgir teknisk levetid for sine produkter. Dette er i mange LCA-studier basis for å fastsette levetiden på produktet og dermed utgangspunktet for vurdering av drifts- og vedlikeholdsmessige forhold som blir inkludert i studien. Erfaringer fra studier av levetider i praksis, viser at den reelle levetiden for byggematerialer varierer betydelig fra den oppgitte optimale levetiden fra produsent (Bjørberg 2009, Haagenrud 2006). Det betyr ikke at produktet ikke har de kvalitetene som produsenten lover, men at det er andre forhold som nevnt over, som er bestemmende for når utskifting vil finne sted. For eksempel kan nye fargetrender påvirke behov for ny maling av boligen (innendørs), mens vedlikeholdsbehovet er underordnet beslutningen. Dermed kan et fortreffelig materialvalg/-løsning komme dårligere ut fordi – i dette eksempelet – trendendringer er førende for at frekvens for vedlikehold er hyppigere enn nødvendig. Estimerte antall år for bruksfasen for et bygg har stor betydning på resultatene til en LCA (Haapio og Viitaniemi, 2008b, Erlandsson og Borg, 2003)

Om SLP skal være hele byggets livsløp så er det ikke behov for tilpasningsdyktighet (TPD), for eksempel ny opera. Men der SLP er kort dvs. det skal stadig vekk endres så er det stort behov for tilpasningsdyktighet, for eksempel nytt sykehus eller private boliger hvor SLP kan være noe lenger,

men hvor endring av familiestruktur skaper behov for endring av planløsningen. Et eksempel på betydning av levetid i praksis kommer til syne når en skal analysere kontorbygg. Erfaringer fra norske kontorbygg er at den gjennomsnittlige leietiden er 7 år og at det hvert 7. år gjennomføres en betydelig ombygging grunnet nye leietakers andre behov og krav (Rønning et al 2008). Hvor omfattende en slik ombygging vil være, er avhengig av hvor tilpasningsdyktig bygget i utgangspunktet er.

Transport av vedlikeholdsarbeidere er ikke ubetydelig og utelates i de fleste studier (Blom et al., 2010).

Gjennom dette litteraturstudiet er det ikke gjort funn som simulerer direkte hvilke konsekvenser ulike bruksmønstre har på de samlede klimagassutslippene eller energibruk. Dette er interessant, spesielt når en vet at brukeradferd kan ha stor betydning på energibruk. Statens Byggtekniske Institut i Danmark har foretatt studier av brukers påvirkning på energibruk i bygg. Det er foretatt en kartlegging av energibruk hos fem to-personshusholdninger som bor i nøyaktig likt hus i samme boligfelt. Variasjonen mellom laveste og høyeste energibruk til oppvarming er 4.000-14.600 kWh/år (Gram-Hanssen 2010).

Det er en utfordring at mange studier utelater fasene vedlikehold, utskifting og utvikling av bygget. Dermed underestimeres de totale miljøbelastninger knyttet til byggets livsløp og det gis dermed ikke et reelt bilde av hva som er viktige livsløpsfaser og under hvilke forhold de er viktige (Fernandez 2008, Blengini og Di Carlo 2010). Dermed kan design med fokus på tilpasningsdyktighet og brukeradferd være viktigere enn materialene i seg selv (Erlandsson og Borg 2003, Davison et al. 2006, Gibb et al. 2007, Rønning et al. 2008, Manewa et al. 2009).

Flere studier konkluderer med at når en foretar en miljøvurdering av et bygg og man velger å se på funksjonaliteten til bygget, må transportaktiviteter som er knyttet til bruken av bygget inkluderes og at energibruket knyttet til transport kan utgjøre så mye som 50 prosent av det totale energibruket (Norman et al. 2006, Rønning et al. 2006, Selvig 2007, Selvig og Cervenka 2008, Statsbygg 2011). På den annen side er det i LCA-standarder ikke påkrevd at transportaktiviteter knyttet til brukere av bygget som konsekvensen av **lokalisering** skal med i LCA-studier. Hvordan bygget er plassert i terrenget er heller ikke beskrevet i standardene selv om dette vil påvirke oppvarmings-/kjølebehov og vedlikehold betydelig (Radhi 2009).

Komparative studier av byggverk av ulike byggematerialer

De finnes flere LCA-studier som sammenligner f.eks tre- mot betong- eller stålbygg, betong vs stål med mer. Mange av disse utelater flere faser og aktiviteter gjennom livsløpet til byggverk (Ortiz et al., 2009). Det er ikke alltid åpenbart med hvilken begrunnelse, men ofte begrunnes utelatelsen med "energi til oppvarming er lik for begge byggverk" (Upton et al. 2008, Guggemos og Horvath, 2005). Dette er klart en svakhet når en skal sammenligne bygg basert på ulike materialer.

Mange studier der det konkluderes med at "livsløpsanalysen viser at energibruk i driftsfasen er viktigst", er det ofte at det samtidig konkluderes med at det ene byggverket bestående av et gitt materiale er bedre enn et annet, uten at det nødvendigvis er diskutert om det er signifikante forskjeller.

Her ser en at mange av de nevnte punktene i kapittel 4.1 er håndtert forskjellig eller utelatt slik at det påvirker resultatene i to hovedretninger; a) hvilke faser som er viktige i livsløpet og b) betydningen av materialvalg har for det samlede resultatet.

Haapio og Viitaniemi (2008) har foretatt en litteraturstudie av ulike miljøbedømningsverktøy basert på LCA av hele bygg. Verktøy som er inkludert i studien:

ATHENATM Environmental Impact Estimator, Building Environmental Assessment Tool (BEAT) 2002, BeCost, Building for Environment and Economic Sustainability (BEES) 4.0, BREEAM, EcoEffect, Eco-Profile, Eco-Quantum, Envest 2, Environmental Status Model, EQUER, ESCALE, LEGEP, Leadership in Energy and Design (LEED®), Programmation et Analyse de Projets d'Ouvrages et d'Opérations Soucieux de l'Environnement (PAPOOSE), and TEAM™.

Konklusjonen er at verktøyene varierer veldig i forhold til følgende parametre:

- Om det sees bare på bygningsmaterialer, hele bygninger og om alle faser inkl vedlikehold med mer inkluderes
- Dekker ulike deler av livsløpet
- Ulike miljøpåvirkninger er inkludert
- Ulike formål/målgrupper – for eksempel forskning, konsulenter, beslutningstaker, vedlikehold
- Ulike verktøy for vurdering av nye og eksisterende bygninger
- Type bygning

Det konkluderes med at LCA-resultatene blir forskjellig ved bruk av de ulike verktøyene og at det er umulig å sammenligne LCA-resultater framkommet med bruk av det ene verktøyet med resultater fra et annet. Dette styrker vår utfordring med å oppgi kvantitative funn knyttet til både enkeltstudier og studier som sammenligner bygg basert på ulike materialer. Et annet aspekt Haapio og Viitaniemi diskuterer, er at man har ulike behov for informasjon avhengig av hvilke beslutninger som skal tas og hvor i verdi-/beslutningskjeden man befinner seg. Og det stilles dermed spørsmål om de ulike verktøy gir riktig informasjon til både arkitekt, byggherrer og eiendomsforvaltere i forhold til deres behov for informasjon. Dette støttes av spørreundersøkelse foretatt i byggenæringen i Norge (Vold et al. 2006).

LCA gir i seg selv kvantitativ informasjon om miljøprestasjoner, men samtidig er det også en kommunikasjonsarena. Selve prosessen "å gjennomføre LCA" gir unike muligheter for ulike fagfelt å øke gjensidig forståelse om tverrfaglige løsninger, spesielt i prosjekter som har vært organisert som en samspillprosess (Rønning et al. 2008). Dette diskuteres i liten grad i LCA av bygg.

4.3 Blir produksjonsfasen like viktig som driftsfasen for lavenergibygging?

Et byggematerialers påvirkning på et byggs totale energibruk gjennom bruksfasen har stor innvirkning på resultatene som vist tidligere. Ettersom vi får mer energieffektive bygg, blir utslipp fra produksjonsfasen mer og mer viktig (Treloar et al., 2001, Thormark 2002, Yohanis og Norton 2002, Thormark 2006, Sartori og Hestnes 2007, Brunklaus et al. 2008, Hubermann og Pearlmutter 2007). Sistnevnte trekker fram eksempel på at oppstrøms energibruk kan bidra med opptil 60 prosent av det

totale energibruket. Og avhengig av bl.a. type bygg, lokalisering og hvilken modell man anvender for beregning av CO₂-faktor for elektrisitet, kan dette forskyve hvilken livsløpsfase som bidrar mest, ennå mer.

Samtidig påpekes det at samvirke mellom livsløpsfasene er viktig å forholde seg til. Et ensidig fokus på livsløpsfases viktighet må ikke gå på bekostning av at man ikke fanger opp det faktum at de valg man gjør på designsidene; herunder valg av materialer, påvirker resten av livsløpsfasen (Blengini og Di Carlo 2010).

Sartori og Hestnes (2007) har foretatt en litteraturstudie med formål å klarlegge den relative viktigheten av energibruk til drift i forhold til energibruk oppstrøms, inkludert energibruk til uttak av råmaterialer, produksjon av byggematerialene og byggeprosess med tilhørende transport – spesielt i forhold til lavenergibyggninger. Av de 60 casene som de til sammen fant i litteraturen, viste de fleste at energibruk til drift av byggene er den livsløpsfase som bidrar mest, og at lav-energibygg er mer energieffektiv en konvensjonell bygg selv om energibruk til produksjon av materialer (oppstrøms) øker.

De svakheter og mangler en finner i livsløpsvurderinger av bygg generelt er også gjeldene for analyser av lavenergibygg.

5 Diskusjon

Litteraturstudien viser at LCA av bygg og byggevarer er et komplekst og utfordrende felt. Det som gjør det ekstra utfordrende er at hvert bygg eller byggeprosjekt er unikt og har bl.a. lang levetid og service life, som igjen kan avhenge av brukeradferd og tilpasningsdyktighet, teknologiutvikling, produksjonsteknologi med mer. Samtidig er LCA den metodikk som fanger opp og gjør det mulig å inkludere alle aktiviteter gjennom hele verdikjeden og tar hensyn til mange miljøbelastingskategorier. Men, det viser seg at bruken av metoden overfor bygg er lite harmonisert og at tilgang på informasjon om sammenhengen mellom LCA-metodikk og bygg- og materialtekniske forhold er mangelfull.

Det en har sett i samfunnsdebatten og også tidligere stortingsmeldinger, er at man trekker fram enkeltstudier eller et gitt antall studier som viser at det ene byggematerialet eller type bygg har en bedre miljøprestasjon enn et annet. Funnene i denne litteraturstudien viser at det ikke er vanskelig å trekke fram et antall studier som viser en gitt konklusjon for eksempel at et byggemateriale er bedre enn et annet. Det betyr ikke at konklusjonene er absolutte og "sanne". Det er mange forhold som innvirker på resultatene og blir utdypet under.

Et bakteppe for denne studien har vært påstanden om at driftsfasen eller bruksfasen er den som bidrar mest gjennom livsløpet til bygg. Dette bekreftes gjennom funnene i den grad bruksfase er inkludert. For hovedvekten av studiene er bruksfasen imidlertid utelatt eller for snevert definert (for eksempel kun energi til oppvarming er inkludert). Det får konsekvenser for vurdering både av bygg basert på dagens byggtekniske krav og for vurdering av lavenergibygg. For lavenergibygg vil betydningen av energibruk til drift av bygget få relativt mindre betydning sett i forhold til produksjonsfasen. Samtidig vil det å inkludere andre aktiviteter i tilknytning til drift/vedlikehold/utvikling (DVU) av bygget øke belastningene fra bygget er oppført, gjennom dets service-life og til endt levetid.

Som vist i kapittel 2.2 finnes det to hovedtyper LCA; hvor formålet er a) *å dokumentere egenskaper og konsekvens av allerede vedtatte beslutninger (ferdige bygg eller produserte materialer)* og b) *å sette betingelser eller krav (planleggingsfase/virkemiddelutforming) for derigjennom å analysere konsekvenser disse har gjennom levetiden for byggverket*. Det er en interessant observasjon at det i liten grad diskuteres hvilket formål studien har i et slikt perspektiv eller om dette får konsekvenser for resultatene.

Funnene viser at resultatene i LCA-studier varierer betydelig og dette kan – i tillegg til formålet med studien - forklares langs to hovedakser; *LCA-metodiske* og *material- og byggtekniske forhold*. Det presiseres at disse to dimensjonene vil gjelde og i noen tilfeller forklares ulikt avhengig av hvilken "type" LCA som gjennomføres.

Studier som dokumenterer materialers egenskaper og konsekvenser av allerede gjennomført valg

Funnene viser at den mest vanlige bruken av LCA er til dokumentasjon av byggematerialers miljøprestasjoner fra vugge til port eller som en del av et helt bygg. I tillegg kommer det klart fram at grunnlaget og forutsetningene er ulike fra studie til studie. Det er imidlertid liten diskusjon om svakhetene i analysene eller hvor egnet analysen er i forhold til overføring til andre studier eller til å trekke generelle konklusjoner.

Variasjonene i de LCA-metodiske forholdene kan være knyttet til fastsettelse av systemgrenser eller definering av referansestrøm for beregning av miljøbelastningene. Vugge-til-port-analysene er ofte beregnet på bakgrunn av per volum- eller vektenhet og sier lite om hvor mye av det gitte materialet som vil inngå i en gitt funksjon i bygget eller hvilke egenskaper det har i bygget. I varierende grad er det foretatt en beskrivelse av om oppstrøms data er basert på egne, spesifikke data eller det er basert på generelle litteratordata. Hvilke faser, eller ledd i verdikjeden som er inkludert varierer også fra studie til studie og det kan være vanskelig å se hva som faktisk er inkludert. Spesielt trekkes fram følgende LCA-metodiske faktorer som viktige og som påvirker resultater betydelig:

- elektrisitet/miks/CO₂-verdi for elektrisitet som anvendes.
- håndtering av resirkulerbare materialer
- inkludering/ekskludering av karbonatisering for betong
- håndtering av CO₂-lagring i tre

I sammenlignende studier er det vanskelig å se om materialene behandles likeverdig i forhold til spesielt datagrunnlag og -kvalitet. ISO-standarden for LCA stiller krav til at alle parter skal være involvert ved en komparativ analyse, men det er vanskelig å se at dette faktisk er gjort. Selv om data tilsynelatende behandles likt, metodisk sett, kan kvaliteten på data lett bli forskjellig. Oppdragsgiver har forutsetninger for å framskaffe spesifikke data for basecase (egen produksjon og eget produkt), mens data for konkurrerende produkt er basert på litteratordata. Siden forutsetningene varierer og ofte ikke er beskrevet med god nok gjennomsiktighet, kan sammenligningene skje på feil grunnlag.

En annen utfordring med sammenlignende dokumenterende studier, er at man antar at ulike forhold ved bygget er likt, og dermed ekskluderes disse fra analysen. Typiske påstander er at energi til oppvarming og at vedlikeholdet er likt for forskjellig løsninger/materialer og tas dermed ikke med. Det betyr at faser som kan være mest betydningsfulle totalt sett blir ekskludert fra analysene og det som da utgjør forskjellene mellom to LCAer kan være av mindre betydning. Et ensidig fokus på miljødokumentasjon av materialer fra vugge til port fører lett til suboptimalisering siden man ikke fanger opp forhold som vedlikehold, energibruk, samspilleffekter med andre materialer, gjenbruk og avhending. Men det er likevel viktig å merke seg viktigheten av dokumenterende LCAer (atributonal). De gir verdifull input til produsenter for bedre forståelse av eget produkt og dermed innspill til forbedringsprosesser og leverandørutvikling. I tillegg er de en forutsetning for å etablere et godt datagrunnlag som basis for LCAer som har som formål å vurdere konsekvenser av valg i for eksempel tidligfaseplanlegging.

Det foreligger i dag en del deklarasjoner som oppsummerer LCA-resultater fra byggematerialer (EPDer). I Norge er prosessen med utvikling og bruk av LCA/EPDer kommet godt i gang både ved etablering av EPD-Norge og ikke minst Statsbyggs offensive bruk av etterspørselsmakten gjennom det å kreve EPDer for byggevarer og utarbeide klimagassregnskap for nye byggeprosjekter. Ideen bak EPDer er at de skal være adderbare. Det betyr at det skal være mulig å benytte informasjon fra underleverandørers EPDer (vugge til port) som grunnlag for å utvikle EPD for eget produkt. Dette forutsetter felles metodikk for utarbeidelse av deklarasjonene. Svakheten med systemet er at det kan være vanskelig å vurdere metodiske valg og andre faktorer som påvirker resultatene fordi bakgrunnsrapportene som beskriver dette, ikke er tilgjengelig.

I utgangspunktet er PCRer ment å stramme inn valgmuligheter i LCA- og EPD-studier slik at analyser blir sammenlignbare og gi brukeren trygghet om dette selv om ikke bakgrunnsrapportene er tilgjengelig. Dagens praksis i forhold til PCRer, er at hvert bygningsmateriale har sin egen PCR eller det benyttes en meget generell PCR for "building products" som mange EPDer er basert på. Konsekvensen av dette er at selv om EPDene er ment å være sammenlignbare, er det fremdeles forskjeller i metodikk som gir ulike resultater. Behovet for å harmonisere metodikk for beregning og prestasjon av denne type informasjon er nødvendig for å sikre tilgjengelighet og bruk av og ikke minst riktig bruk av LCA/EPD for byggematerialer.

Bruk av LCA for å simulere konsekvenser av valg av ulike konsepter

Når en skal definere hvilke valg knyttet til byggverk over dets levetid fra planlegging til oppføring og hele perioden til bygget skal avhendes, er mange forhold som vil påvirker bygget. Materialvalg og kombinasjonsvalg er viktig, men overordnede løsningsvalget som beliggenhet i forhold til infrastruktur, plassering av byggene og valg av løsninger i forhold til lysforhold, arealeffektivitet i forhold til bruk, romløsninger i forhold til funksjonalitet, kjøling på grunn av stort internt varmeoverskudd kombinert med godt isolerte bygninger vil påvirke miljøprestasjonen til bygget betydelig.

Litteraturen viser at en i stor grad tolker LCA-resultatene og forklarer disse i lys av materialenes eller fasenes påvirkning isolert sett. For eksempel oppgis det at grunnen til en gitt miljøprestasjon er at energibruket i drift er høyt, eller at utslipp fra produksjon av et gitt materiale er høyt. Det sees helt bort ifra koblingen til faktorer som hvordan bygget er utformet, hva det er konstruert av, hvor det er plassert og hvordan det brukes. Årsaken til høyt energibruk i drift, kan være sterkere avhengig av bruksmønster enn for eksempel isolasjonsevnen til et gitt materiale isolert sett. Disse faktorer må sees i sammenheng.

Overordnede løsningsvalg blir i liten grad vurdert i studiene, med unntak av at lokalisering er nevnt som et viktig område. I dokumenterende LCAer er diskusjonen om overordnede løsningsvalg og de konsekvenser de har på resultater fraværende. Derimot er det nærliggende å tro at de er implisitte valg i konsekvensbaserte LCAer. I den nye "Calculation Standarden" fra CEN, vil det bli et krav om at overordnede valg skal inkluderes som rammebetingelser når en skal foreta LCA av hele bygg, se kapittel 2.3. Måten dette foreslås gjennomført, er at man definerer mye tydeligere egenskaper ved bygget opp mot referansestrømmen som alle miljøbelastninger beregnes ut i fra:

- Type bygning
- Relevante tekniske og funksjonelle krav (for eksempel lovbestemte og bestillers spesifikke krav)
- Bruksmønster
- Service life - brukstid

Som nevnt tidligere gir ikke standarden noen retningslinjer for hvordan dette skal skje, men at det skal være utgangspunktet for definering av objektet som skal analyseres.

Få studier synes å ha tatt hensyn til de byggtekniske egenskapene som materialene har og hvilken effekt disse egenskapene har på levetid og drift av bygget. Det er det vanskelig – om ikke umulig – å forta en generell vurdering av byggematerialer opp i mot hverandre. Når en skal foreta LCA-vurdering av byggematerialer eller –varer, er det en viktig erkjennelse at så lenge man snakker om andre

bygningdeler enn bærende konstruksjoner, bør LCAen inkludere hele den totale levetiden for bygget. De er ofte sammensatte eller fordrer samspill med andre materialer eller installasjoner for å oppfylle den ønskede funksjonaliteten.

Haapio og Viitaniemi sier avslutningsvis i sitt paper som vurderer verktøy for LCA-bedømming av byggverk: *“Is it possible that “the high quality building” of today will be “the low quality building” of the future?* Med denne kommentaren som utgangspunkt trekkes det fram behovet for å beskrive ulike scenarier for hva som skjer i byggets ”service life” ved LCA for hele bygg der en ønsker å analysere konsekvenser av ulike valg. Scenariene bør ta hensyn til bygget og dets tilpasningsdyktighet i forhold til funksjonalitet, elastisitet og generalitet, teknologiutvikling, framtidig energiforsyning og effekt av implementering av politikk. Det siste både i forhold til miljø-, energi og industripolitiske virkemidler som til en hver tid er på dagsorden.

6 Konklusjon

Med utgangspunkt i den gjennomgåtte LCA-litteraturen vil vi trekke fram følgende hovedfunn:

- Miljøbelastninger og energibruk knyttet til drifts-, vedlikehold og utviklingsfasene (FDVU) har stor og større betydning enn produksjonsfasen for ulike materialer.
- Ved lavenergibygg vil den relative betydningen av produksjonsfasen for byggematerialer øke.
- Det gis ikke grunnlag til å hevde at en type bygningsmateriale skal gis prioritet framfor et annet med hensyn til miljøbelastninger.
- Ved å inkludere overordnede løsningsvalg, som medfører at flere faser og aktiviteter inkluderes i LCA, vil de totale miljøbelastninger gjennom byggets levetid øke. Viktighet og omfang de ulike fasene har, vil avhenge av både formålet med analysen, type bygg, bruksmønster med mer.
- LCA som metode gir mulighet til å vurdere miljøkonsekvenser ulike valg under tidligfaseplanlegging, til prosjekteringsfase og FDVU-faser gir.
- Fordi det innenfor LCA-modellering gis muligheter til store variasjoner i beregningsmetoder vil en kunne få ulike resultater med hensyn til miljøbelastninger. Variasjonene forklares i forhold til formålet med studien, datagrunnlag og –kvalitet som benyttes og hvordan systemgrenser fastsettes (hvilke faser som inkluderes/ekskluderes).
- Standarder gir beskrivelse av hva som skal med i en analyse, men ikke hvordan beregninger skal foretas og med hvilket datagrunnlag.
- Eksisterende modeller og metoder for beregning av LCA presenterer resultatene i en form som ikke nødvendigvis er tilpasset aktuelle aktører i byggenæringens behov for miljøinformasjon. De er heller ikke tilpasset eksisterende verktøy som tradisjonelt er i bruk i byggeprosessen.
- LCA brukes i størst grad til å dokumentere konsekvenser av allerede fastlagte valg og beslutninger eller gjennomførte byggeprosjekter, og i mindre grad som planleggingsverktøy for simulering av konsekvenser av valg i ulike faser av byggeprosessen eller gjennom levetiden til bygget.

Bygningers miljøprestasjon er avhengig av mange faktorer, for eksempel hvordan de er utformet, hva de er konstruert av, hvor de er plassert og hvordan de brukes. Disse faktorene må ses i sammenheng for å kunne avgjøre om byggets miljøprofil er tilfredsstillende. Hva som er tilfredsstillende er ikke definert og vil til en hver tid reflektere politiske føringer og ambisjoner som utbygger har.

Litteraturgjennomgangen viser at man i for liten grad benytter det potensialet LCA har som beslutningsverktøy. Basert på overordnede målsettinger – for et enkelt bygg, region, eiendomsmasse – kan en anvende livsløpsvurderinger for å vurdere måloppnåelse eller simulere miljøkonsekvenser ulike valg har på den totale miljøprestasjonen for bygget gjennom hele levetiden.

I Norge er prosessen med utvikling og bruk av LCA/EPDer kommet godt i gang både ved etablering av EPD-Norge og ikke minst Statsbyggs offensive bruk av etterspørselsmakten gjennom det å kreve EPDer for byggevarer og utarbeide klimagassregnskap for nye byggeprosjekter.

For å sikre økt bruk av levetidsbetraktninger bør det fokuseres på utfordringer langs to akser; på den ene siden styrke troverdigheten til det bakenforliggende datagrunnlag og beregninger for LCA og på den andre side tilrettelegge for bruk av resultater i faktiske byggeprosesser, bedrifters produktutvikling

og i overordnede prioriteringer på statlig og kommunalt plan. Slik vi ser det, er det en rekke tiltak som vil kunne øke bruken av levetidsbetraktninger langs de to aksene. Eksempler på slike tiltak vil kunne være:

Metodikk – styrke troverdighet til beregninger:

- Sikre lik beregningsmetodikk for LCA av byggevarer gjennom utvikling av PCR (produktkategoriregler) for byggevarer og for sammensatte bygningsdeler som f.eks ytterveggsløsninger, takkonstruksjoner, etasjeskiller.
- Utvikle og gjøre tilgjengelig datagrunnlag:
 - Etablere nøkkeltall eller erfaringsdatabase for levetider i praksis for vedlikehold og utviklingsfaser
 - Kartlegge sammenhengen mellom bruksmønstre og energibruk
- Klarlegge sammenhengen mellom byggs tilpasningsdyktighet og konsekvenser for vedlikehold og utskiftninger.
- Etablere konsensus om hvordan miljødata for ulike byggematerialer kan beregnes på byggnivå i hele byggets livsløp; mao. hvordan koble material- og byggtekniske egenskaper ulike materialer har, alene eller i samspill med andre materialer.

Stimulere til økt bruk av LCA i beslutningsprosesser og politikkutforming:

- Klarlegge hvilken miljøinformasjon ulike beslutningstakere har behov for i ulike faser av byggeprosessen.
- Øke kunnskapen i næringen om sammenheng mellom valg i byggeprosessen og miljøprestasjoner gjennom for eksempel opplæring i form av kurs, etterutdanning og annen formidling.
- Integre LCA-/EPD-resultater i eksisterende verktøy som tradisjonelt er i bruk i byggeprosessen (bl.a. BIM).
- Stimulere næringslivet til økt fokus og kjennskap til egne produkter ved å stille krav om EPDer ved anbudsprosesser, i forhold til nybyggprosesser, rehabilitering og vedlikehold.
- Stimulere til økt bruk av samspillsprosesser ved offentlig utbygginger hvor LCA kan anvendes som kommunikasjonsarena gjennom simulering av miljøkonsekvenser av valg.
- Sikre videre drift og utvikling av EPD-Norge som organisasjon i etableringsfasen gjennom offentlig støtte. Verifisering av EPDer er nødvendig for å sikre tillit til ordningen.
- Bruke LCA som en del av klima- og energiplanlegging ved kommunal arealplanlegging i forhold til utvikling og vurdering av bygningsmassen og utbyggingsmønstre/lokalisering.
- Kreve LCA-dokumentasjon med fremtidsscenarioer for bygg over en gitt størrelse ved byggesaksbehandling

7 Referanser

Aleris 2011: <http://www.alumox.no/aluminium/sekundaeraluminium>

Barrett J og Wiedmann T (2007): A comparative Carbon Footprint Analysis of On-Site Construction and an Off-Site Manufactured House, Research report 07-04, Stockholm Environment Institute, 2007.

Bjørberg S (2009): Levetidstabeller kan misbrukes – og det gjøres, Juristkontakt nr. 1 2009.

Blengini G, Di Carlo T (2010): The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, Energy and Buildings, 42 (6), 869-880.

Blom I, Itard L og Meijer A (2010): Environmental impact of dwellings in use: Maintenance of façade components, Building and environment 45 (2010) 2526-2538.

Bribián I Z, Usón A A og Scarpellini S (2009): Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification, Building and Environment 44 (2009) 2510-2520.

Brunklaus B, Thormark C, Baumann H (2008). Passivhus och konventionella hus – en miljöjämförelse. Bygg & Teknik 5.

Chen C, Habert G, Bouzidi Y og Jullien A (2010), Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation, Journal of cleaner production 18 (2010) 478-485.

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

Davison N, Gibb A G, Austin S A og Goodier C I (2006): Adaptable2006, international conference on Adaptable Building Structures, juli 2006, Nederland.

Dimoudi A, Tompa C (2008): Energy and environmental indicators related to construction of office buildings, Resources, Conservation and Recycling 53, 86-95.

Dokka og Hermstad (2006): Energieffektive boliger for fremtiden – En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger, SINTEF Byggforsk, avdeling Arkitektur og byggteknikk, Trondheim.

enPR 15804 (2010): Sustainability of Construction Works – Environmental Product Declarations – Core Rules for the product category of construction products. CEN-the European Committee for Standardization – TC 350 WG3, AFNOR, Paris.

Erlandsson M og Borg M (2003): Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services--today practice and development needs, Building and Environment 38 (2003) 919-938.

Eurofer 1995, Miljøbygg i stål, brosjyre, oversatt på initiativ fra Norsk Stålforbund, 1995.

[European Commission (2010): ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance First edition, ILCD international reference life cycle data system, JRC European Commission Joint Research Centre og Institute for Environmental and Sustainability.

Fernandez N P (2008): The influence of construction materials on life-cycle energy use and carbon dioxide emissions of medium size commercial buildings, Master Thesis (Building Science), School of Architecture, Victoria University of Wellington.

- Fernandez N P (2008): The influence of construction materials on life-cycle energy use and carbon dioxide emissions of medium size commercial buildings, Master Thesis (Building Science), School of Architecture, Victoria University of Wellington.
- Fossdal, S (2007): EPD for Stålkonstruksjoner av varmformede hulprofiler (HFSHS), NEPD 078, EPD Norge, 2007
- Fossdal, S (2007b): EPD for Stålkonstruksjoner av kaldformede sveiste hulprofiler (CFSHS), NEPD 079, EPD Norge, 2007.
- Fossdal, S (2007c): EPD for Stålkonstruksjoner av HSQ, ISQ og HSK profiler, NEPD 076, EPD Norge, 2007.
- Gerilla GP, Teknomo K og Hokao K (2007): An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction, Building and Environment 42 (2007) 2778-2784, 2007.
- Gibb A, Austin S, Dainty A, Davison N og Pasquire C (2007): Towards adaptable buildings: pre-configuration and re-configuration – two case studies, ManuBuild 1st International Conference, The transformation of the Industry, Open Building Manufacturing, Rotterdam, april 2007.
- Gonzales M J og Navarro J G (2006): Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact, Building and Environment 41 (2006) 902–909
- Gustavsson L og Sathre R (2006): Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials, Building and Environmental 41 (2006) 940-951.
- Gram-Hanssen, K 2010: User practices and variations in energy consumption of households, PHD – Course: Sustainable buildings - technical innovations and user practices, Universitetet i Aalborg.
- Grini C (2010) EPD for Norsk innvendig panel (ubehandlet), NEPD nr: 085N, EPD Norge, 2010.
- Grini C, Fossdal S, Foldvik K (2008): Veileder for utarbeidelse av miljødeklarasjoner, SINTEF Byggforsk.
- Guggemos A A, Horvath A (2005): Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed Buildings, Journal of Infrastructure Systems, June 2005.
- Haagenrud S E (2006): Praktisk bruk av standarder for livsløpsplanlegging og levetidsprosjektering, presentasjon på seminar om Bærekraftig byggevirksomhet Standard Norge 24. april 2006.
- Haapio A, Viitaniemi P (2008a): A critical review of building environmental assessment tools, Environmental Impact Assessment Review 28, 469–482.
- Haapio A, Viitaniemi P (2008b): Environmental effect of structural solutions and building materials to a building, Environmental Impact Assessment Review 28, 587–600.
- Hubermann N og Pearlmutter D (2008): A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert, Energy and Buildings 40 (2008) 837-848.
- IPCC 2007 karakteriseringsmetode GWP 100 årsperspektiv, versjon 1.02.
- Kjellsen, K O, Guimaraes M, Nilsson Å (2005): The CO₂ Balance of Concrete in a Life Cycle Perspective, ISBN87-7756-758-7, Dansk Teknologisk Institut, København.
- Klif 2011 <http://www.klif.no/no/Tema/Avfall/Farlig-avfall/Impregnert-trevirke/>
- Klunder G (2002): The factor of time in life cycle assessment of housing, Delft University of Technology, the Netherlands.

- Lyng, K-A, Brekke, A, Vold, B I, Modahl, I S og Rønning, A (2010), Skog som biomasseressurs, Livsløpsdata for utslipp av klimagasser for skog til ulike formål, OR.30.10, Østfoldforskning AS, 2010.
- Manewa A, Pasquire C, Gibb A og Schmidt R (2009): Towards economic sustainability through adaptable buildings, Adaptable Futures, Loughborough University, UK, 2009.
- Marinkovic S, Radonjanin V, Malesev M og Ignjatovic (2010): Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete, Waste Management 30 (2010) 2255-2264.
- Matthews HS, Hendrickson CT, Weber CL, 2008: The importance of carbon footprint estimation boundaries. Environmental Science and Technology 42(16): 5839-5842.
- Nereng G (2010): Presentasjon Bellonas Energiforum, 26. november, Oslo.
- Nilsen P, Hobbestad K og Clarke N (2008): Opptak og utslipp av CO₂ i skog. VUrdering av omløpstid, hogstmetode og hogstfredning for CO₂-binding i jord og trær. Oppdragsrapport fra Skog og Landskap 06/2008.
- Norman J, MacLean H L, Kennedy C A (2006): Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. J. Urban Planning. And Development, Volume 132, Issue 1, pp. 10-21
- Norsk Glassgjenvinning (2011): <http://www.glassgjenvinning.no/default.aspx>
- NS (2010): Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger, NS 3700:2010, Standard Norge.
- Norsk Stålforbund (2011): http://www.stalforbund.com/20_gode_miljogrunner.htm
- Ortiz O, Castells F og Sonnemann G (2009): Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, Construction and Building materials 23 (2009) 28-39.
- Papadopoulos AM og Giama E (2007): Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building, Building and Environment 42 (2007) 2178-2187.
- Petersen A K og Solberg B (2002): Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction: Case: beams at Gardermoen airport, Environmental Science & Policy 5 (2002) 169-182.
- Petersen A K og Solberg B (2005): Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden, Forest Policy and Economics 7 (2005) 249-259.
- Pommer K og Pade C (2005): Guidelines – uptake of carbon dioxide in the life cycle inventory of concrete. Danish technological institute report, NI-poject 03018:1-82.
- Raadal H L, Modahl I S, Lyng K-A (2009): Klimaregnskap for Avfallshåndtering, Fase I og II. OR.18.09 , Østfoldforskning AS, Fredrikstad.
- Radhi, H. (2009): Evaluating the potential impact of global warming on the UAE residential buildings – A contribution to reduce the CO₂ emissions, Building and Environment, Volume 44, Issue 12, Pages 2451-2462.
- Rønning, A.; Nereng, G.; Vold, M.; Bjørberg S.; Lassen, N. (2007): JOMAR - A Model for Accounting the Environmental Loads from Building Constructions, OR.07.07, Ostfold Research, Fredrikstad.
- Rønning A, Vold M, Nyland C A (2001): As a producer in an early stage in the value chain – how to effect decisions in the user phase? The 9th SETAC Europe Conference, Leiden.
- Rønning, A.; Vold, M. (2008): Miljøvurdering av nytt hovedkontor for Sparebank 1 SMN. Sammenligning av to alternative løsninger”, Østfoldforskning, OR.10.08, Fredrikstad.

- Sartori I og Hestnes AG (2007): Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, *Energy and buildings* 39 (2007) 249-257.
- Sathre R og O'Connor J (2010): Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution, *Environmental Science & Policy* 13 (2010) 104-114.
- Schakenda, V (2010): EPD for armert betongbjelke, EPD Norge, NEPD nr: 12 NO, 2010.
- Scheuer C, Keoleian G, Reppe P (2003): Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications, *Energy and Buildings* 35 (10), 1049-1064.
- Schmidt A, Jensen AA, Clausen AU, Kamstrup O og Postlethwaite D (2003): A comparative Life Cycle Assessment of Building Insulation Products made of Stone Wool, Paper Wool and Flax, *International Journal of LCA* 9 (1) 53-66 (2004).
- Selvig, E. (2007): "Klimagassregnskap for utbyggingsprosjekter. Utvikling av et beregningsverktøy for eksempel på et klimagassregnskap for en del av Fornebu". Civitas, Oslo.
- Selvig E og Cervenka Z (2008): Holistic life cycle GHG emissions associated with buildings, presentasjon på World Sustainable Building Conference, Melbourne.
- Sharrard A L, Scott Matthews H, Ries R J (2008): Estimating Construction Project Environmental Effects Using an Input-Output-Based Hybrid Life- Cycle Assessment Model, *Journal of Infrastructure Systems*, 323-336.
- Statsbygg (2011): klimagassregnskap.no - beregningsverktøy for klimagassutslipp fra byggeprosjekter, www.klimagassregnskap.no.
- Store Norske Leksikon (2011): <http://www.snl.no/aluminium>
- Trefokus (2011a): <http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=1111>
- Trefokus (2011b): <http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=1124&amid=8816>
- Treloar G J, Love P E D, Faniran O O og Iyer-Raniga (2000): A hybrid life cycle assessment method for construction, *Construction Management and Economics* (2000) 18, 5-9.
- Treloar, G. J., Fay, R., Ilozor, B., & Love, P. E. D. (2001): An analysis of the embodied energy of office buildings by height. *Facilities*, 19(5-6), 204-214(211).
- Upton B, Miner R, Spinney M og Heath LS (2008): The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States, *Biomass and Bioenergy* 32 (2008) 1-10.
- Vold, M.; Hanssen, O.J.; Rønning, A.; Bjørberg, S. (2006): "Environmental documentation for the life cycle of entire building constructions – Lessons learned from the building sector in Norway and from international methodology review", OR 17.06, STØ, Fredrikstad.
- Vold, M (2007): EPD for Hulldekkelement HD 265, EPD Norge, NEPD nr.: 006NO, 2007.
- Vold, M (2010): EPD for DT-element, EPD Norge, NEPD nr: 13 NO, 2010.
- Werner F og Richter K (2007): Wooden building products in comparative LCA, A Literature Review, *Int J LCA* 12 (7) 470-479.
- Wærp, S (2009), EPD for I-bjelke (lettbjelke), EPD Norge, NEPD nr: 088N, 2009.

Yohanis Y G og Norton B (2002): Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK, *Energy* 27 (2002) 77-92.

Zhang X, Su X og Huang Z (2007): Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1188–1193, 2007.



Rapporter kan bestilles ved henvendelse,
samt lastes ned fra vår hjemmeside: www.ostfoldforskning.no