

Januar 2021

LCA i praksis

Introduktion og eksempler på livscyklusvurderinger i byggeprojekter



Indhold

Introduktion	5
Del 1: Metode	
Bygningens livscyklus	8
LCA gennem projektløbet	12
Informationsbehov	16
Mængder	18
EPD og generiske miljødata	20
Transport [A4]	22
Byggeplads [A5]	24
Del 2: Eksempler	
Bygningseksempel 1	28
Bygningseksempel 2	30
Bygningseksempel 3	32
Bygningseksempel 4	34
Materialevalg: Varianter af bygningsdele	36
Analyse af resultater	38
Ordliste	40
Indikatorer for miljøpåvirkning og ressourcebrug	41
Referencer og litteraturliste	42



Introduktion

Baggrund

Denne publikation har til formål at give rådgivere og andre interesserede i byggebranchen en introduktion og praktisk viden om livscyklusvurdering (LCA) i byggeri. Publikationen bygger på LCA-kravet i den frivillige bæredygtighedsklasse (FBK), som blev lanceret af Trafik, Bygge- og Boligstyrelsen i maj 2020. Med FBK findes der nu en ramme for LCA i byggeri i Danmark, der skal bidrage til en bredere anvendelse af LCA og en reduktion af bygningers klimapåvirkning.

Publikationen kan med fordel læses uden forudgående erfaring med LCA. Den giver et godt grundlag for i praksis at arbejde med LCA-kravet og den tilhørende vejledning i FBK samt brugen af værktøjet LCAByg. LCAByg er et dansk værktøj for livscyklusvurderinger i byggeri og kan anvendes til at udføre LCA i henhold til FBK. Værktøjet kan både bruges som designværktøj til at nedbringe klimapåvirkning i byggeri i designfasen og til dokumentation af det opførte byggeri. Publikationens beregninger er udført i LCAByg. Afsnittet om resultater og forbedringsmuligheder viser nogle af de muligheder, der er i LCAByg for at analysere resultater og finde potentialer til forbedring.

LCA-kravet i den frivillige bæredygtighedsklasse

Ved ansøgning om byggetilladelse og ved færdigmelding af en bygning skal der foreligge hhv. en indledende og en endelig livscyklusvurdering (LCA), som vurderer bygningens samlede klimapåvirkning.

Indhold og struktur

Publikationen kan læses som helhed for at få en grundig introduktion til LCA i praksis og i undervisningsøjemed. Den kan også anvendes som et opslagsværk, der løbende kan understøtte designprocessen. Det er kun de aspekter i en LCA, som er relevante for FBK, som udfoldes i denne vejledning. For mere uddybende viden henvises der til litteraturlisten.

Publikationen illustrerer værdien af LCA i løbet af et byggeprojekt, og hvilke informationer man har brug for. Der fokuseres på to situationer: LCA i designfasen og endelig LCA af det opførte byggeri. Publikationen lægger størst vægt på designfasen, da det særligt er i denne fase, bygningens klimapåvirkning kan reduceres. Ikke desto mindre er det vigtigt at være forberedt på dokumentationskravene for det færdige byggeri i god tid.

Afsnittet om miljødata forklarer, hvad en miljøvaredeklaration (EPD) for en byggevare er, og hvornår man bruger generiske miljødata i stedet. For beregning af materialers klimapåvirkning er det vigtigt at beregne deres mængder på en hensigtsmæssig måde set i forhold til projektfaserne. Til sidst gennemgås et bygningseksempel, som viser, hvordan man kan træffe valg i sin bygning, der reducerer klimapåvirkningen. Da byggebranchen allerede har stor erfaring med at nedbringe energiforbruget i bygningsdriften, fokuserer eksemplet på materialevalg. Selvom eksemplet er et parcelhus, kan metoden principielt overføres til både større nybyggerier og renoveringer.

Beregningsresultaterne har udelukkende illustrative formål og kan ikke overføres til andre projekter.

Der gøres opmærksom på, at LCA for bygninger er et område, som er i løbende udvikling. Derfor skal denne publikation læses med bevidsthed om, at der kan være opdateringer, fx af miljødata, LCAByg og reguleringer på området.

Del 1: Metode

Den første del af publikationen formidler metoden for livscyklusvurderinger (LCA), og hvordan LCA kan indgå i et projektforsløb. Derudover gennemgås, hvilke informationer man skal have til rådighed for at kunne udføre LCA.



Bygningens livscyklus

I en LCA opdeles bygningens livscyklus i standardiserede faser og moduler, for at gøre livscyklusvurderingen håndterbar.

Hvad er en livscyklus?

Bygningens klimapåvirkning rækker langt udover den periode, som man normalt ville opfatte som bygningens levetid. Det starter med udvindingen af råstoffer og fremstilling af byggevarer, som kan finde sted lang tid før, idéen om et byggeprojekt opstår. Klimapåvirkningen inkluderer også scenarier om bygningens fremtidige udskiftninger og energiforbrug til drift, der dog er forbundet med usikkerhed. For at sikre sammenlignelighed i beregning af klimapåvirkningen for alle projekter, anvendes der som standard en såkaldt betragtningsperiode på 50 år.

Selv om brugeren er flyttet fra bygningen i fremtiden, slutter bygningens levetid ikke. Her må det antages, at bygningen rives ned, helt eller delvist, og materialerne affaldsbehandles eller recirkuleres, som de sidste dele af en livscyklus. Dette er uanset, om bygningen i praksis vil have en kortere eller længere levetid.

Byggeris livscyklus beregnes i henhold til den europæiske standard DS/EN 15978:2012 [CEN, 2012]. Livscyklusen er inddelt i fem faser, som igen er inddelt i 17 moduler (figur 1 og figur 2). Standarden sætter bl.a. de overordnede rammer for, hvilke processer der indgår i faserne, og hvordan de skal beregnes. På baggrund af dette præciserer definitionerne i FBK, hvordan reglerne skal anvendes i praksis i Danmark.

Da LCA for hele byggeriets livscyklus er en omfangsrig opgave, som ikke vil kunne håndteres i et byggeprojekt på en hensigtsmæssig måde, indgår kun de moduler med tilstrækkelig erfaringsgrundlag og beregningsregler (figur 2). Udvalget af livscyklusfaser kaldes også for en systemafgrænsning. Det vil sige, at der findes processer, som ligger inden for og uden for vurderingens rækkevidde.

Sammenhæng mellem faserne

Brugsfasen [B] er et godt udgangspunkt, hvis man skal forestille sig en bygningens påvirkning af miljøet. I brugsfasen bruger bygningen energi, og bygningsdele skal udskiftes, hvis den forventede levetid er kortere end betragtningsperioden på 50 år. Det der sker før brugsfasen, betegnes som henholdsvis Produktfasen [A1-A3] og Byggeprocessfasen [A4-A5]. På den anden

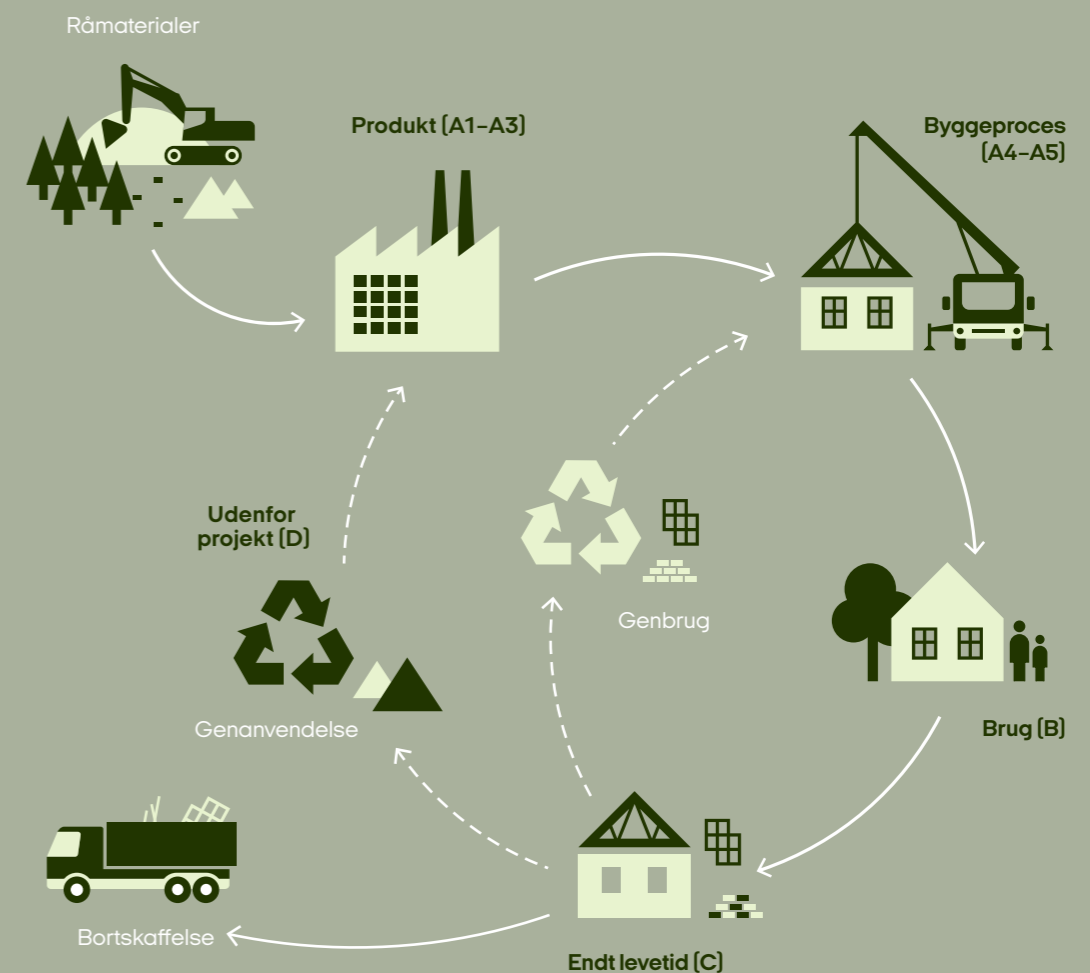
side kaldes det, der sker efter Brugsfasen [B], for Endt levetid [C]. Fasen Uden for projekt [D] giver udtryk for de påvirkninger eller potentialer, som har en indflydelse udenfor det pågældende projekt. Det kan være overskydende vedvarende energiproduktion eller materialer til genbrug og genanvendelse i nye sammenhænge. D-fasen regnes ikke med i LCA-resultatet, men betragtes separat.

Generelt kan klimapåvirkningen ved produktion af produkter og i byggeprocessen [A1-5] påvirkes mest direkte gennem en LCA, da disse processer og beslutninger foregår her og nu. Samtidig kan den samlede effekt fra disse faser beregnes ved overlevering af bygningen til bygherren.

Brugsfasen er baseret på antagelser om, hvordan bygningen og brugernes påvirkning forholder sig i en antaget 50 års betragtningsperiode. Disse scenarier er i sagens natur usikre, og effekterne kan først måles efter en lang årrække. Derudover kender vi ikke med sikkerhed de fremtidige rammebetingelser, herunder energisystemet, produktion af byggevarer eller muligheder for genbrug og genanvendelse.

Da FBK har til formål at skabe ens vilkår for alle aktører, skal der anvendes standard levetider for byggevarer. På denne måde er lignende løsninger ligestillet med hensyn til antallet af udskiftninger. Ligeledes skal beregning af klimapåvirkning relateret til energiforbrug ske efter bygningsreglementets regler og baseres på scenarier for den forventede udvikling af energiforsyningen i Danmark.

Figur 1. Illustrativ oversigt over de fem faser der indgår i en bygnings livscyklusvurdering (LCA).



Bygningens klimapåvirkning rækker langt udover den periode, som man normalt ville opfatte som bygningens levetid.

Figur 2.

Bygningens livscyklusvurdering (LCA) er opdelt i fem faser og 17 moduler. 10 af modulerne indgår i den frivillige bæredygtighedsklasses krav om LCA.



Moduler der indgår i vurderingen er fremhævet. Dem som ikke indgår, pga. manglende data, er markeret med lysegrå tekst. Det forventes at der med tiden vil indgå flere moduler i vurderingen.

LCA gennem projektforløbet

En lav klimapåvirkning opnås bedst, hvis LCA anvendes fra projektets opstart i en integreret designproces. Da LCA både medtager materialer og energiforbrug, har de fleste beslutninger for bygningens udformning konsekvenser for klimapåvirkningen.

LCA i designfasen

Byggeri er i konstant udvikling, og hvert projekt er unikt med hensyn til den proces, det går igennem.

Selvom det er vanskeligt at forudse alle beslutninger, der har indflydelse på bygningens klimapåvirkning, giver det god mening at udføre LCA allerede i starten af projektet (figur 3). Det er nemlig her, hvor de største potentialer ligger for bl.a. optimering af bygningers klimamæssige ydeevne.

Byggeprojekter starter normalt på et overordnet niveau i form af et idéoplæg eller lignende. Selvom der er langt fra idéoplæg til den konkrete bygning, fastlægges de overordnede linjer ofte tidligt, hvis man bygger efter normal praksis. Derfor skal oplægget granskes tidligt, så klimapåvirkningen bliver en del af beslutningsgrundlaget. Overordnet set kan man gå ud fra, at alle aktiviteter, materialer og energiforbrug bidrager til bygningens klimamæssige ydeevne. Valget af byggegrund alene kan fastlægge rigtig mange parametre for udformningen af bygningen, byggeprocessen og den efterfølgende brugsfase.

I løbet af projektforløbet vil der ske præciseringer, og der bliver truffet flere og flere beslutninger om bygningens udformning. I takt med projektets detaljering, bør også LCA modellen præciseres, således at de foreløbige resultater i designfasen tilnærmer sig den endelige LCA. Der kan være mulighed for, til en vis grad, at optimere klimapåvirkningen i alle projektfaser (figur 4 på siderne 14-15).

Idé

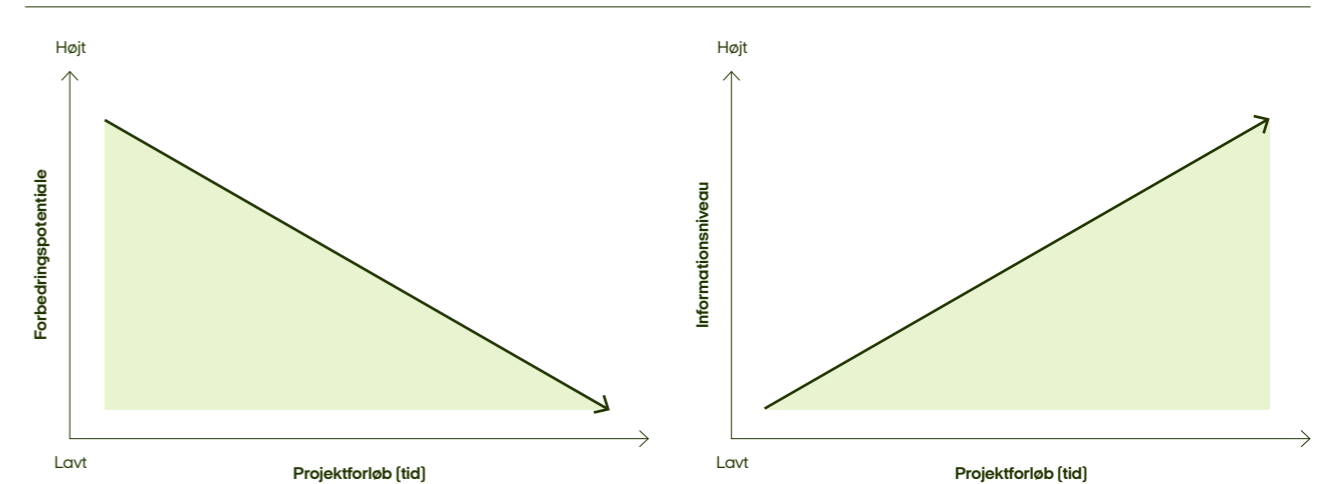
Projektidéen granskes ved hjælp af LCA på basis af eksisterende, lignende byggesager. I takt med, at der udføres flere LCA'er, vil der naturligt opbygges et større erfaringsgrundlag. En anden tilgang er at undersøge væsentlige forskelle i varianter for projektet, som er svære at ændre senere i projektet. Det kan være fundering, terrænregulering, bygningsgeometri, konstruktionsprincip, byplanmæssige forhold osv.

Hvis udgangspunktet er et eksisterende byggeri, kan der udføres en LCA, som sammenligner renoveringsscenarier med scenarier for tilbygning eller nedrivning og nybyggeri.



Det giver god mening at udføre LCA allerede i starten af projektet. Det er nemlig her, hvor de største potentialer ligger for bl.a. optimering af bygningers klimamæssige ydeevne.

Figur 3. Det største potentiale for at optimere klimapåvirkningen ligger i tidlige projektfaser. Forbedringspotentialer falder med projektforløbet, hvorimod informationsniveauet vokser med projektforløbet.



Skitseprojekt

En LCA udføres på grundlag af et konkret designforslag. Manglende definition af mængder estimeres og ikke definerede bygningskonstruktioner erstattes med standardkonstruktioner. Ved manglende data kan der anvendes estimater og standardkonstruktioner i LCAbyg. Som udgangspunkt anvendes der generiske miljødata. For de bygningsdele med de største bidrag til projektets klimapåvirkning, udføres variantstudier, som gerne må koordineres med energikonceptet.

Myndighedsprojekt

I ansøgningen om byggetilladelse sættes der bindende målsætninger for projektet, herunder miljømæssig ydeevne. Her afleveres LCA-dokumentationen til hjemmesiden FBKtest.dk [BUILD, 2020a], hvis projektets mål er at overholde FBK.

Udbud

I udbuddet sættes der målsætninger for projektets klimapåvirkning som helhed ud fra LCA-modellen i ansøgningen om byggetilladelse. Leverandører skal også vide, hvilke løbende aktiviteter som registrering af spild, energi og transport der hører med til denne opgave. Dette gælder også for en eventuel dokumentation af overholdelse af FBK med tilhørende bilag. Eventuelle ændringer i processen, som kan påvirke klimapåvirkningen, skal kunne håndteres. Det er vigtigt at sørge for et vist spillerum for valg af de faktiske byggevarer, konstruktioner og tilrettelæggelsen af byggepladsen.

Udførelse

Under opførelse af byggeriet føres der kontrol over indkøb af varer med hensyn til rammer for den aftalte klimapåvirkning. Dette gælder også for underleverandører. Planlægning af byggeprocessen og håndtering af de nødvendige registreringer, har direkte indflydelse på mængden af spild, energiforbrug og transport.

Ibrugtagning

Efter byggeprocessens afslutning kan det endelige LCA-resultat beregnes og bygherren ved, om de aftalte målsætninger for projektet er indfriet. Leverandøren indsamler de nødvendige data for LCA'en og den endelige dokumentation afleveres til bygherren og FBKtest.dk [BUILD, 2020a].

Drifts- og vedligeholdelsesplanen kan være grundlag for fortsat at sikre lave emissioner i løbet af bygningens levetid. Det kan ske med LCA-baserede retningslinjer for indkøb og øvrige aktiviteter. Efter bygningen har været i brug i de første år, kan de anvendte scenarier holdes op imod det faktiske brug. Eventuelle justeringer kan foretages og erfaringer kan medtages i kommende projekter.

LCA gennem projektforløbet fortsat

Figur 4.

Oversigt over, hvordan LCA indgår i projektforløbet, og hvilke muligheder der er for at påvirke klimapåvirkningen i de forskellige projektfaser.

	LCA i designfasen			Indledende LCA		Endelig LCA		
	Idé	Skitseprojekt	Myndighedsprojekt	Udbud	Udførelse	Færdigmelding af bygningen	Drift	
LCA-Aktiviteter	<p>LCA screening på basis af eksisterende, lignende byggesager.</p> <p>Sammenligning af varianter af bygningsdele, som typisk har stor påvirkning.</p> <p>Ved eksisterende byggeri: Scenarier, der sammenligner renovering og nybyggeri.</p>	<p>Estimerer af mængder.</p> <p>Standard bygningskonstruktioner.</p> <p>Bygningsdele vurderes med generisk miljødata.</p>	<p>LCA'en er baseret på en fuldstændig bygningsmodel. Energi til bygningsdrift [B6] er baseret på den indsendte energirammeberegning.</p> <p>Bygningsdele vurderes med generiske miljødata. Transport [A4] og Opførelse/montering [A5] udelades.</p> <p>Dokumentationen for den indledende LCA afleveres til bygherren. Hvis projektet skal leve op til FBK, afrapporteres også til FBKtest.dk.</p>	<p>Tilbudsgivere inddrager målsætninger for maksimal klimapåvirkning af bygningsdele eller byggeriet som helhed i deres kalkulation. Der bør regnes med en sikkerhedsmargin til at håndtere uforudsete risici som fx ændringer af leverandør, produkt eller byggeproces.</p>	<p>Entreprenøren registrerer leverancer til byggepladsen, energiforbrug, transport på byggepladsen og materiale-spild. Der samles dokumentation i form af følgesedler, fakturaer, måleraflysninger og lignende med hensyn til senere beregning af påvirkninger fra materialer og byggeprocessen.</p>	<p>Ved hjælp af dokumentation af byggeprocessen beregnes projektets samlede klimapåvirkninger.</p> <p>Her indgår der, i videst muligt omfang, de faktiske forhold, herunder leverancer, produkter, materialespild og energiforbrug under byggeproces.</p> <p>Dokumentationen for den endelige LCA afleveres til bygherren. Hvis projektet skal leve op til FBK, afrapporteres også til FBKtest.dk.</p>		
Mulighed for påvirkning	<p>Typologi og byggemetode har stor indflydelse på klimapåvirkningen og kan være rammesat inden en egentlig designfase.</p> <p>Hertil hører parametre såsom valg af byggegrund, byplanmæssige forhold, adgang og parkering, fundering, dagslys og energiforsyning.</p> <p>Renovering, ombygning, tilbygning eller nybyggeri kan have meget forskellige miljøprofiler i den konkrete sag.</p>	<p>Udvikling af projekt understøttes med regelmæssige screeninger.</p> <p>Variantstudier ved større ændringer.</p> <p>Størst opmærksomhed på hot-spots, derefter suboptimering.</p> <p>Sammenkør udvikling af koncept for driftsenergi med LCA.</p>	<p>Ansøgningen om byggetilladelse er tidspunktet for at sætte bindende målsætninger for projektet, herunder miljømæssig ydeevne, eventuelt ved at overholde pejlemærker for klimapåvirkning.</p>	<p>Bygherren fastsætter tildelingskriterier, så klimapåvirkningen af den indledende LCA også overholdes i det færdige byggeri.</p> <p>Derudover stilles krav om registrering og dokumentation af spild, energi og transport under byggeprocessen.</p> <p>Udbuddet bør indeholde regler for håndtering af ændringer i byggeprocessen, som påvirker den endelige LCA.</p>	<p>Entreprenøren påvirker LCA'en via planlægningen af byggeplads og -processen og ved indkøb af byggevarer. Indkøb bør understøtte de aftalte grænser for klimapåvirkningen, herunder relateret til transport.</p> <p>Registrering af den nødvendige dokumentation skal planlægges fra start og kontrolleres regelmæssigt. Dette gælder også for aftaler med underleverandører.</p> <p>Entreprenøren kan aktivt bidrage med at reducere spild, energiforbrug og transport på byggepladsen.</p>	<p>Drifts- og vedligeholdelsesplanen kan være grundlag til fortsat at sikre lave emissioner i løbet af bygningens levetid. Det kan ske med LCA-baserede retningslinjer om indkøb og aktiviteter med lave emissioner.</p> <p>De anvendte scenarier om bygningens drift bør holdes op imod den faktiske drift i løbet af bygningens levetid for at høste erfaringer til kommende projekter.</p>	<p>Drifts- og vedligeholdelsesplanen kan være grundlag for fortsat at sikre lave emissioner i løbet af bygningens levetid. Det kan ske med LCA-baserede retningslinjer for indkøb og aktiviteter med lave emissioner.</p> <p>De anvendte scenarier om bygningens drift bør holdes op imod den faktiske drift i løbet af bygningens levetid for at høste erfaringer til kommende projekter.</p>	

Informationsbehov

En række informationer er nødvendige for at kunne vurdere klimapåvirkninger fra materialer, energiforbrug, transport og byggeproces. Figur 5 betragter LCA ud fra de væsentlige behov for information, delt op i LCA i designfase og endelig LCA.

Bygningsdele (A1-3, B4, C3-4, D)

Kendskab over typer og mængder af materialer er vigtig for at beregne materialernes klimapåvirkning. Da mængdeberegning kan være tidskrævende, kan der med fordel arbejdes på en smidig kobling af mængder mellem LCA i designfasen og den endelige LCA. Ofte kan der være synergi i at koordinere flere typer analyser, som økonomi og energi, hvor der med fordel kan benyttes en fælles model for estimater og løbende præciseringer i projektets forløb. Afsnittet 'Mængder' [side 18-19] uddyber muligheden for forenklinger af mængdeberegningen for LCA i designfasen. Dog har valg og mængde af materialer direkte indflydelse på resultatet og kræver omhu i beregningen, især for byggevarer med et forholdsvist stort bidrag til resultatet.

Ved en endelig LCA er ambitionen at gå fra projektering til leverancer i praksis. Beregningen bygger overordnet set på en liste over mængder, som indgår i byggeriet. Overskydende mængder af leverede materialer, i forhold til mængden i bygningen, bogføres som spild i modul A5. Der er dog ikke tradition for, at bygherrer kræver en sådan opstilling med dokumenterede leverancer ved aflevering af det færdige byggeri. Derfor må man gå ud fra, at den endelige LCA ofte vil bero på en teoretisk beregning af mængder fra projekteringen, som bliver kvalitetssikret med dokumentation af de faktiske entrepriser. Der kan være stor forskel på informationsniveauet for det opførte byggeri afhængig af, hvilken dokumentation der forlanges af bygherren.

Miljødata for byggevarer, de såkaldte miljøvaredeklarationer (EPD), leveres af producenter og brancheorganisationer [se side 20-21]. EPD'er giver de projekterende mulighed for at vælge blandt produkter med forskellige miljømæssige egenskaber. Inden det konkrete produkt er valgt, kan generiske miljødata, som er tilgængelige i LCAByg, anvendes.

I en LCA indgår byggevarers levetid for at beregne det forventede antal af udskiftninger. Levetiderne, som er standardiserede i SBI rapport 2013:30, er tilgængelige i LCAByg og skal angives for hver byggevare.

Transport (A4)

Oplysninger om transport af byggevarer og jord fra fabrik til byggeplads ligger hos de aktører, som står for leverancen. I nogle tilfælde vil det sidste led i leveringskæden kunne skaffe hele dokumentationen. I andre tilfælde bliver det nødvendigt at spore en leverance gennem flere led. Disse oplysninger forventes at blive nemmere tilgængelige i takt med en stigende efterspørgsel på dokumenterede leveringskæder i et bæredygtighedsperspektiv. Det er en god idé at aftale dokumentation af transport fx i udbud, inden leverandørerne går i gang. Især transport af materialer i store mængder eller over store afstande, bør allerede undersøges i forbindelse med materialevalg i designfasen.

Byggeproces (A5)

Energiforbrug, materialespild og transport under byggeprocessen er baseret på konkrete registreringer. Inden der foreligger erfaringstal i FBK, kan man anvende egne erfaringer om energiforbrug og standardværdierne i FBK for spildprocent, transportafstand og -form. Dokumentationskrav for registreringerne fremgår af kravet om byggepladsen og af LCA-kravet i FBK-vejledningen.

Energi til bygningsdrift (B6)

Information om energi til bygningsdrift hentes fra den obligatoriske energirammeberegning. Det gælder både for den foreløbige beregning for LCA i designfasen og for den endelige beregning, som ligger til grund for byggetilladelsen. Ved LCA for eksisterende bygninger tager man udgangspunkt i det målte, klimakorrigerede varmekorrigeret forbrug i kombination med det beregnede behov for el til bygningsdrift.

Figur 5.

Informationsbehov i LCA, defineret for både LCA i designfasen og for dokumentation af den endelige LCA.

		LCA i designfasen	Endelig LCA
Bygningsdele A1-3, B4, C3-4, D	Mængder (se side 18-19)	Mængder beregnes ved overslag, men opgørelsen skal omfatte alle dele iht. FBK. Antagelser kan være konservative for at undgå for optimistiske resultater. Ukendt materialevalg kan defineres ud fra erfaringsværdier eller typiske løsninger fx i LCAByg.	Dokumentation af de faktisk anvendte byggevarer og mængder.
	Miljødata (se side 20-21)	Generiske data som udgangspunkt. EPD for kendte leverancer.	EPD som udgangspunkt. For byggevarer uden relevant EPD anvendes generiske data.
	Levetid	Standardlevetider i henhold til SBI-rapport 2013:30. Levetider findes også i LCAByg og de integrerede eksempelkonstruktioner.	Standard levetider i henhold til SBI-rapport 2013:30. Levetider findes også i LCAByg.
Transport A4	Transport fra produktion til byggeplads (se side 22-23)	Estimater eller FBK standardtal, som også findes i LCAByg.	Leveringskæde skal som minimum dokumenteres for de 5 tungeste byggevarer. Øvrig transport kan beregnes som ruten mellem fabrik og byggeplads.
Byggeplads A5	Spild (se side 24-25)	Estimater eller FBK standardtal.	Dokumenteret registrering og/eller FBK standardtal, som også findes i LCAByg.
	Transport under byggeprocessen (se side 24-25)	Estimater eller FBK standardtal.	Dokumenteret leveringskæde som minimum for de fem tungeste byggevarer. Den øvrige transport kan forenkles jf. FBK.
	Energi (se side 24-25)	Estimater.	Målt forbrug.
Energi til bygningsdrift B6	Nybyggeri/tilbygning: Beregnet energibehov	Be18 energirammeberegning eller estimat fra lignende byggesag.	Endelig Be18 beregning, som ligger til grund for byggetilladelsen.
	Eksisterende byggeri: Målt varmekorrigeret forbrug, beregnet el-behov til bygningsdrift	Målt varmekorrigeret forbrug. El til bygningsdrift skal normalt beregnes, da det ikke måles separat fra de øvrige forbrug.	Målt varmekorrigeret forbrug. El til bygningsdrift skal normalt beregnes, da det ikke måles separat fra de øvrige forbrug.

Mængder

Materiale-mængder er grundlaget for LCA af de indlejrede klimapåvirkninger. I designfasen kan det være nødvendigt at estimere nogle mængder på basis af konservative antagelser.

Forskellige tilgange til projekter

Byggebranchen anvender forskellige tilgange til estimering af mængder og materialevalg i dispositions- og skitseforslag. Forskelle opstår på grund af projekternes skala, type eller virksomhedens arbejdsgange. Det kan give ret forskellige forudsætninger for, hvilke mængder der kan forventes i løbet af projekterne til brug i LCA. Det gælder både designfasen og det færdige byggeri, hvor bygherrens krav til afrapportering kan variere.

Mængden af de forskellige materialer og byggevarer, der indgår i et byggeri og det tilhørende udeareal på grunden, er fundamentet for beregning af materialers klimapåvirkning i LCA. Det er derfor afgørende, at alle materialer medtages i regnskabet iht. FBK's afgrænsning af bygningsmodellen, allerede fra den første LCA i designfasen. Mængder for den færdige bygning skal opgøres på basis af de faktiske leverancer og mængder.

LCA i designfasen

En fuldstændig bygningsmodel sikrer, at LCA udført i designfasen opnår et retvisende estimat over bygningens klimapåvirkning, når byggeriet er færdigbygget. Samtidig skal mængdeopgørelsen være nem og hurtig for at kunne håndtere ændringer og varianter i designprocessen. Det er derfor oplagt at forenkle mængdeberegningen til en vis grad, hvis der er ufuldstændige oplysninger i projektet.

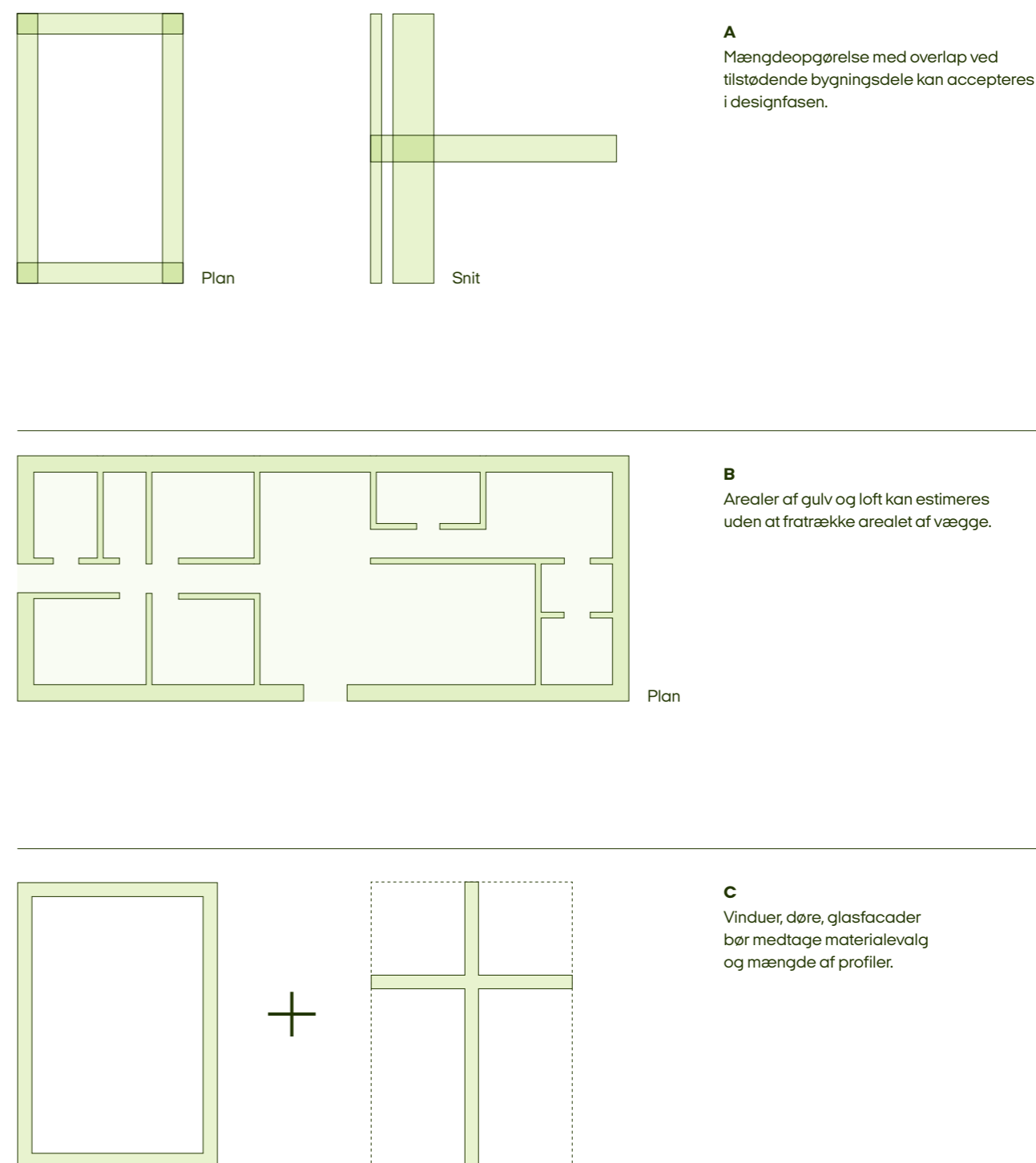
Ved at anvende konservative estimater som foreslået her, undgår man at ende med forudsætninger, der er for optimistiske, og som kan give udfordringer senere i projektet. Så snart projektet kan levere mere akkurate antagelser om mængder og materialevalg, anbefales det at opdatere bygningsmodellen, så den gradvist forfines i projektføreløbet.

Konkret kan forenklingen bestå i at estimere mængder af bygningsdele ved at medregne overlap og hjørner (figur 6A).

De forskellige lag i en konstruktion kan opgøres på basis af arealet beregnet fra de ydre dimensioner. Gulvarealet kan beregnes uden at fratække afbrydelser i form af vægge (figur 6B). Alle disse greb forøger materiale-mængden og dermed klimapåvirkningen. Denne sum kan dog bruges som buffer for ændringer i det videre projektføreløb.

Vinduer kan enten opgøres på basis af arealet eller de konkrete vinduer (figur 6C). Den arealbaserede tilgang kan bruges til overslag, eller hvis der er mange ens vinduer. I begge tilfælde bør mængden af alle profiler modelleres, enten baseret på vinduets design eller på basis af en sandsynlig udformning, selv hvis vinduernes glasandel endnu ikke er fastlagt. Især ved aluminiumsvinduer overstiger ramme, karm og sprosser rudens klimapåvirkning. Derudover er der markant forskel på klimapåvirkningen mellem hhv. 2 og 3-lag ruder.

Figur 6.



EPD og generiske miljødata

Begrebet miljødata dækker over informationskilder for miljøpåvirkning af byggevarer og processer i LCA. Data udvikles af eksperter og kan anvendes i LCA af bygninger. Producenter af byggevarer kan hjælpe med at finde passende miljødata.

Byggevarer

Miljødata for materialernes produktion (A1-3) og affaldsbehandling (C3-4) ligger som udgangspunkt i miljøvaredeklARATIONER (Environmental Product Declaration, EPD). EPD'er kan overordnet set være af typen produktspecifikke eller branche EPD'er. En branche EPD angiver de gennemsnitlige miljøpåvirkninger for en branche eller en produkttype. En produktspecifik EPD er relateret til et produkt eller et produktsortiment fra en bestemt producent.

I den endelige LCA skal der vælges miljødata for byggevarer, som repræsenterer byggevarerne bedst muligt. Det betyder, at passende produktspecifikke EPD'er ville være det første valg. Hvis produktet endnu ikke er specificeret i projektet, eller hvis der ikke findes en produktspecifik EPD, går man efter branche EPD'er i stedet.

EPD'er kan enten rekvireres hos programoperatørerne, producenterne eller brancheorganisationerne (Kilder til EPD og generiske miljødata). Leverandører eller producenter af byggevarer kan hjælpe med at finde den rette EPD, hvis man er i tvivl.

EPD'er, som anvendes i LCA i henhold til FBK, skal overholde en række kvalitetskrav (se de vigtigste krav i tabel 1). En EPD skal være udviklet i henhold til standarden DS/EN 15804 (CEN, 2012) og være verificeret af uvidelig tredjepart. EPD'er gælder typisk for en periode for 5 år og må ikke være udløbet ved tidspunktet for ansøgning om byggetilladelse. I dokumentationen af det færdige byggeri må der anvendes nyere data.



I den endelige LCA skal der vælges miljødata for byggevarer, som repræsenterer byggevarerne bedst muligt.

Kilder til EPD'er og generiske miljødata

The International EPD® System → environdec.com	Generiske miljødata, som anvendes i Danmark → oekobaudat.de
EPD Danmark → epddanmark.dk	EPD-Norge → epd-norge.no
Institut Bauen und Umwelt, Tyskland → ibu-epd.com	Producenter og forhandlere

EPD'er findes dog langt fra for alle byggevarer, som anvendes i Danmark. I disse tilfælde gør man brug af generiske data. Der vil typisk indgå mere generisk data for LCA i designfasen. I Danmark benytter man databasen Ökobaudat, som enten kan tilgås via LCAByg eller fra Ökobaudats hjemmeside (se faktaboks: Kilder til EPD og generiske miljødata). For disse datasæt gælder ligeledes, at der skal anvendes de tilgængelige data, som er mest repræsentative i forhold til produktionssted.

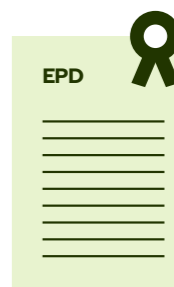
Derudover skal anvendelse af byggevarer, som miljødata'en er beregnet for, være sammenlignelig med byggevarerens funktion i projektet. Det kan omfatte ydeevne og anvendelse, som de kendte produktgrupper typisk er klassificeret med. Et eksempel kan være styrke- og miljøklasser for beton eller isolerings- evne, styrke og anvendelse for varmeisolering.

Byggeplads, transport og energi

Miljødata kommer også i anvendelse ved beregning af klimapåvirkningen for energi og transport. Her anvendes der udelukkende generiske miljødata i henhold til FBK. Der findes to kilder af generiske data, som begge er tilgængelige i LCAByg. Emissionsfaktorer for energi fra den kollektive forsyning beregnes efter den officielle baggrundsrapport (COWI, 2020). De øvrige data for brændstof og transportformer er fastlagt i FBK og stammer fra Ökobaudat.

Tabel 1: Kvalitetskrav for miljøvaredeklARATIONER (EPD).

Gyldighed	EPD'er udløber efter 5 år. Sørg for, at de anvendte EPD'er stadig er gældende, især ved længerevarende forløb i større projekter.
Datakvalitet	EPD'er skal overholde DS/EN 15804 og være tredjeparts-verificeret.
Omfang	EPD'er medtager som minimum fasen Produkt (A1-3). Faserne C og D fra en EPD kan medtages under forudsætning af, at de repræsenterer danske affaldsscenerier.
Produktionssted	Produktionsstedet kan have stor indflydelse på resultaterne, herunder med hensyn til energiforsyning.
Anvendelse	Beskriver, hvilken anvendelse EPD'en gælder for. Det vurderes, om der findes EPD'er, som er mere repræsentative end generiske data og, i givet fald, hvilken EPD der er mest repræsentativ.
Funktionel enhed	Angiver den enhed resultaterne er beregnet i, typisk kvadratmeter, kilo eller kubikmeter. Vær opmærksom på, at omregning af enheder er en typisk fejlkilde i LCA. Dobbeltjek gerne med lignende datasæt i LCAByg.



Transport (A4)

Transport af byggevarer og jord til byggepladsen forbinder produktion og opførelse. Klimapåvirkningen bestemmes af afstanden, transportformen og mængden af materialer, der skal transporteres.

Definition

Transport forekommer flere steder i livscyklussen (figur 1 og 2 på siderne 8-11). Transport af råmaterialer til produktionen [A2] er en del af de resultater, som man overtager fra en EPD, så man ikke behøver at tage stilling til det i det enkelte projekt. EPD'er kan imidlertid også indeholde data for modul A4. Disse data kan ikke benyttes i den endelige LCA, da transporten skal beregnes for alle byggevarer i det specifikke byggeri.

Den nøjagtige leveringskæde med alle mellemlid og transportformer skal som minimum eftervises for de fem tungeste byggevarer. Disse byggevarer kan nemt identificeres i LCAByg's visning af mængder på byggevareriveau og sorteret efter vægt. Den resterende transport må opgøres forenklet, som en direkte rute mellem produktionssted og byggeplads.

Hvis produktionsstedet ikke er kendt, anvendes standardafstanden fra FBK. Det samme gælder for transportformen, hvor FBK også har fastlagt en standardmæssig værdi. Begge dele vil normalt give et konservativt estimat af påvirkninger fra transport. For at optimere påvirkninger fra A4 vil det derfor betale sig at rekvirere både produktionssted og transportform fra leverandøren af byggevarer, som indgår med en vis vægt i projektet udover de fem tungeste. Udover transportafstanden til byggepladsen er transportformen relevant, hvor der er et spænd i klimapåvirkningen på omkring faktor 20.

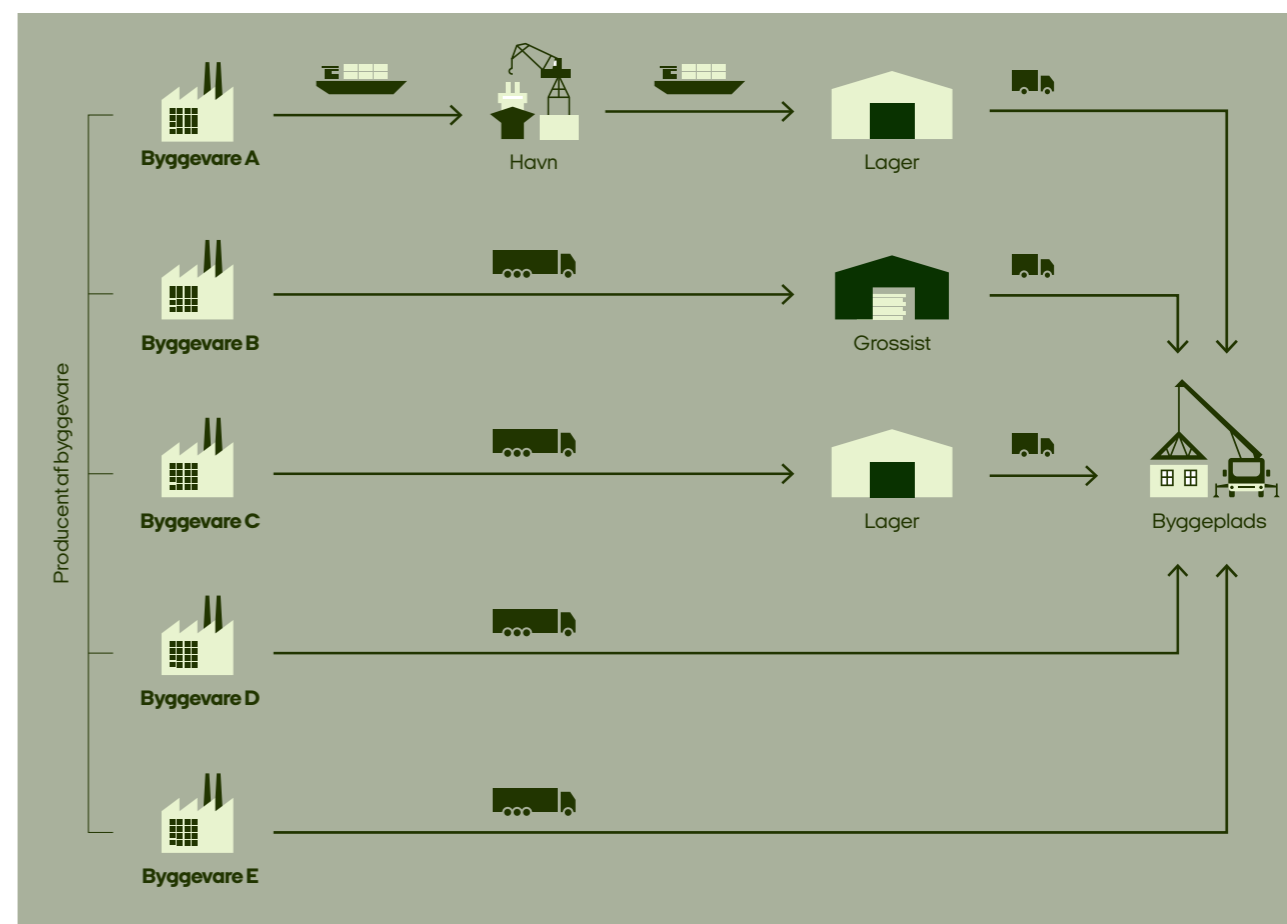
Leveringskæde fra fabrik til byggeplads

I designfasen vil man typisk starte med standardtallene for afstand og transportform, enten ud fra egne erfaringer, leverandørens oplysninger eller med FBK standardafstande. Afhængig af entreprisform bør det undersøges, om det er muligt at estimere nogle relevante transportafstande og -former med større nøjagtighed. Disse estimater kan hjælpe med at vurdere den omtrentlige afvigelse mellem generiske og faktiske forudsætninger, der kan forventes i det endelige byggeri.

Metode for beregning af påvirkninger fra leveringskæder er illustreret i figur 7 og tabel 2. Alle transportled beregnes individuelt, da der ikke nødvendigvis benyttes den samme transportform hele vejen. Påvirkninger for hver transportform angives som klimapåvirkning for transport af ét ton byggevarer over én kilometer. Ved hvert transportled multipliceres byggevarerens vægt med transportformens påvirkning og afstanden. Summen af leddene udgør den klimapåvirkning, som en byggevarer har i den mængde, den forekommer i projektet.

Beregning kan udføres i LCAByg ved at tilknytte informationer om transport til den allerede oprettede bygningsmodel med byggevarer og mængder. Her kan man enten udfylde transporten med generiske værdier eller indtaste specifikke oplysninger gradvist i projektførelsen. Information om transportafstande og -former kan rekvireres hos entreprenøren, leverandøren eller producenten.

Figur 7. Illustration af leveringskæder fra tabel 2. Resultater er baseret på basisbygningen, bygningseksempel 1 (side 28-29).



Tabel 2. Transportkæder for fem byggevarer, som forekommer i basisbygningen (side 28-29). Afstand og transportform illustrerer mulige leverancer til en byggeplads i Odense.

	Byggevare	ton	TF 1 ¹	km	TF 2 ¹	km	TF 3 ¹	km	A1-3, B4, C3-4 ²	A4 ²	Pct. ³
A	Armeringsstål	1,38	Kystskib	1.526	Kystskib	510	Lastbil <26t	165	945	51	5
B	Termoruder	0,41	Lastbil >26t	375	Lastbil <26t	150			1.533	23	2
C	Letklinkerblokke	5,40	Lastbil >26t	271	Lastbil <26t	10			1.891	95	5
D	Spærtræ	1,46	Lastbil >26t	115					796	11	1
E	Grus	51,00	Lastbil >26t	20					2.073	91	4

¹ Transportform

² Klimapåvirkning i kgCO₂eq/m² år

³ Klimapåvirkning for A4 i procent af A1-3, B4, C3-4

Byggeplads (A5)

Byggepladsfasen medtager materialespild og energiforbrug under byggeprocessen. A5 medtager den transport, som ikke er med i fase A4. Det vil sige transport på pladsen og mellem forskellige interim pladser samt transport af affald og jord væk fra byggepladsen.

Spild

Materialespild er de andele af byggevarerne, som er tiltænkt at indgå i det endelige byggeri eller udearealet, men som er faldet fra under byggeprocessen. Spild i A5 betragtes fra tidspunktet af levering til en af byggepladsens lokaliteter, herunder lagre. Idéen med registrering af spild er at sætte fokus på at finde løsninger, der minimerer unødige mængder af spildmateriale, der bliver til affald. I LCA beregnes klimapåvirkningen for spildandelen af en byggevare på samme vis som for byggevareren selv. Der indgår påvirkninger fra produktion [A1-3], transport [A4], endt levetid [C3-4] og genbrug/genanvendelse [D].

Spild knyttes som parameter til hver byggevare på samme vis som transport [A4]. Ligeledes kan spild først endeligt måles ved afslutning af byggeriet. Man er derfor nødt til at estimere størrelsesordenen i designprocessen. Her kan der anvendes en generisk spildprocent fra FBK, som også er til rådighed i LCAByg. Da de generiske værdier er forholdsvis høje, kan det betale sig at arbejde hen imod en lavere spildprocent for de byggevarer, som har de største bidrag til klimapåvirkningen. I modsætning til transport [A4] er det dog tilladt at bibeholde en generisk spildprocent hele vejen til den endelige LCA.

Energi

Energiforbruget under byggepladsen skal registreres i perioden fra anmeldelse for byggearbejde til ibrugtagning. Alle former for energiforbrug medtages, både fra forsyningsnettet og brændstof. Byggepladsen planlægges, så der installeres delmåler for forskellige typer elforbrug i henhold til FBK. Derudover skal procedurer for aflæsninger, registreringer og opsamling af data aftales. Forbrug skal som minimum registreres og dokumenteres ved afslutning af byggearbejdet.

En effektiv optimering af påvirkningerne fra byggefasen, udover den krævede dokumentation, starter allerede med forberedelsen af projektet og valg af byggegrund. Tunge processer såsom byggegruber til kældre, pælefundering, grundvandssænkning og terrænregulering har tilsvarende store bidrag til klimapåvirkningen. Det kan undersøges, om der kan bygges videre på eksisterende fundamenter eller kældre. Konstruktionsmetoden kan også have indflydelse på energiforbruget, alt efter om der er tale om tunge eller lette materialer, der skal flyttes.

Hvis rammerne for byggeprojektet er sat, kan god byggepladslogistik bidrage med det sidste besparelspotentiale. Da udtørring og opvarmning af rådhuset er den erfaringsmæssigt største post i energiforbruget, er der tilsvarende store besparelser at hente ved god planlægning. Generelt bør al unødvendig fugt undgås, både med hensyn til energiforbrug til udtørring, men også i forhold til byggeskader og materialespild. Andre områder er isolering af skurbyen og opvarmede lagre, belysning og energieffektive varmekilder og maskiner generelt.

Transport (A5)

Transport er et delområde af energiforbrug under byggeprocessen og registreres sammen med de øvrige energiforbrug. Transport på byggepladsen indebærer fx ofte eldrevne kraner eller dieseldrevne læssere. Transport mellem forskellige lokaliteter i tilknytning til byggepladsen kan enten registreres som mængden af forbrugt energi eller på samme vis som transport under A4. Metoden kan vælges afhængigt af, hvilke oplysninger der er tilgængelige. Den førstnævnte metode kræver løbende registrering af fx brændstofforbrug, mens det sidstnævnte kræver registrering af afstand, transportform og transporteret mængde. Transport væk fra byggepladsen, f.eks af jord og byggeaffald, skal også dokumenteres og indgår i modul A5.

Materialespild, transport og energiforbrug under byggeprocessen



Spild

Materialespild kan have forskellige årsager, herunder ødelæggelse ved forkert lagring eller håndtering, afskær og fejlagtige leverancer.



Transport

Målt energiforbrug eller beregnede transportkæder på byggepladsen og mellem byggeplads og tilhørende lokaliteter.



Energi

Målt energi fra den kollektive forsyning og brændstofforbrug.



Spild knyttes som parameter til hver byggevare på samme vis som transport. Ligeledes kan spild først endelig måles ved afslutning af byggeriet.

Del 2: Eksempler

Anden del af publikationen tager afsæt i et enfamiliehus som praktisk eksempel på, hvordan man kan bruge LCA til at reducere en bygnings klimapåvirkning gennem analyser og materialevalg.



Basisbygning

Bygningseksempel 1

Gennemgang af LCA for et enfamiliehus. Basisbygningen tager udgangspunkt i typiske materialevalg. På de følgende sider illustreres forskelle i klimapåvirkningen ved varierende materialevalg for tre yderligere bygnigseksempler.

Formål

Eksemplet skal give et indtryk af LCA-processen og hvordan, resultater for klimapåvirkningen konkret kan reduceres ved at variere materialevalg og konstruktioner. Andre optimeringstiltag såsom bygningsgeometri, antal etager eller plantypologi er ikke medtaget her. Basisbygningen danner også grundlaget for graferne på de foregående sider [22 og 23] om transport.

Optimering af basisbygningen fokuserer udelukkende på materialevalg af nogle af de væsentlige bygningsdele og er illustreret på de følgende sider.

Basisbygningen [eksempel 1]

Gennemgangen omfatter et tænkt enfamiliehus i et plan. Basisbygningen har et etageareal på 184 m² og omfatter et køkkenalrum, fire værelser og to badeværelser. Bygningen ligger på en 850 m² stor grund med sydvendt terrasse og en carport. Matriklen ligger uden for fjernvarme- og naturgasområder.

Bygningen er projekteret efter BR18 og overholder de almindelige energikrav. Varmeforsyningen tilvejebringes via en varmepumpe i kombination med lokal jordvarme. Resultaterne for drift er fremskrevet på basis af et forventet scenario, hvor el-produktionen i stigende grad bliver baseret på vedvarende energikilder.

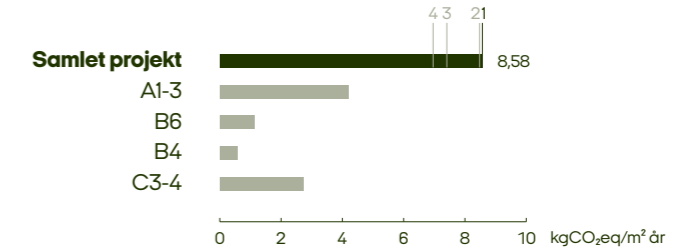
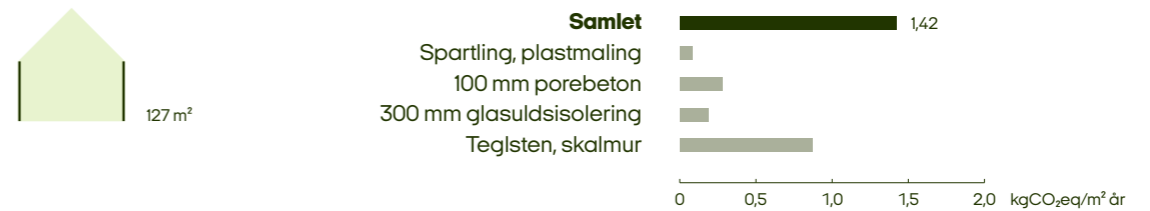
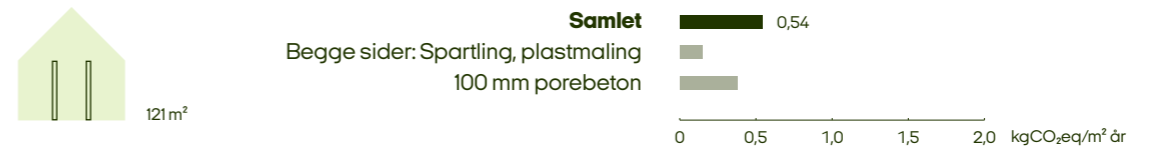
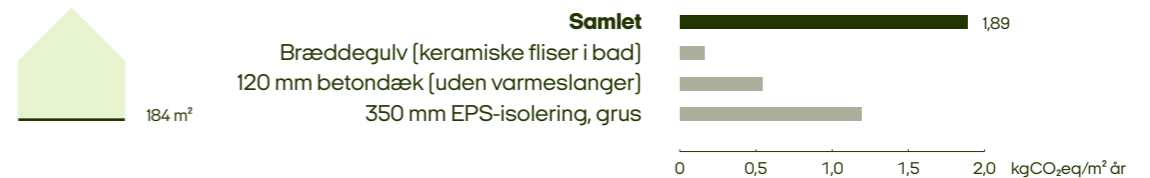
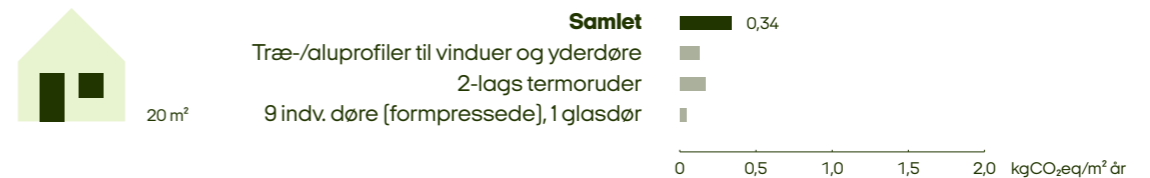
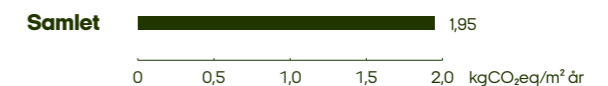
Det øverste bjælke-diagram viser klimapåvirkningen for det samlede projekt, herunder opdelt i de enkelte livscyklusfaser. De efterfølgende bjælke-diagrammer viser resultaterne for de fem bygningsdele, som bliver varieret på de følgende sider. Det nederste bjælke-diagram viser klimapåvirkningen fra de øvrige, uforandrede bygningsdele, som inkluderer fundament, installationer og udeareal.

Idéen med bygningseksemplerne er at sætte fokus på betydningen af LCA. I praksis vil LCA dog være et af mange andre krav, som bygherren og myndighederne vil stille til byggeriet.

LCA definitioner

LCA-metoden og beregningsforudsætningerne følger den frivillige bæredygtighedsklasse. Det gælder især for betragtningsperioden på 50 år, systemafgrænsning og levetider af byggevarer. Der anvendes udelukkende generiske miljødata.

Eksemplet er baseret på et tænkt projekt. Resultaterne kan ikke overføres til konkrete projekter og er ikke repræsentative. Energi til bygningsdrift ligger på BR18 niveau for alle varianter. Beregningerne er udført i LCAByg.

**Ydervægge****Indervægge****Tag og loft****Terrændæk****Vinduer og døre****Resterende bygningsdele**

Bygningseksempel 2

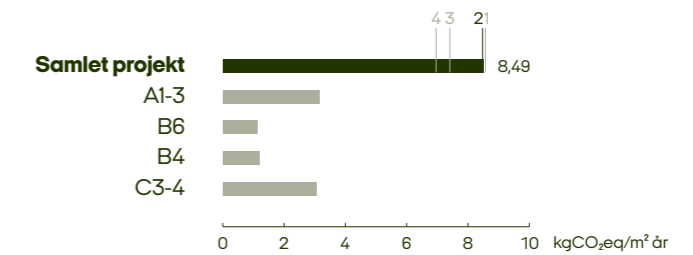
Eksemplet er inspireret af funkisarkitektur med fladt tag og pudset facade.

Bygningen anvender de samme tunge vægkonstruktioner af porebeton som i første eksempel.

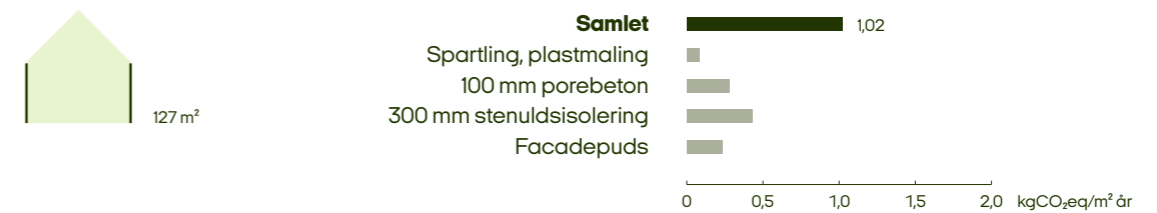
Et af de synlige særpræg i dette bygningseksempel er det markante flade tag. Tagets samlede påvirkninger er lidt højere end dem i basisbygningen, især på grund af den forøgede træmængde i bjælkelaget i forhold til en tagkonstruktion med gitter-spær. Den øgede træmængde skyldes, at bjælkehøjden følger isoleringstykkelser i kolde tage.

Det andet synlige tegn er facaden, som er beklædt med puds direkte på isolering. Materialevalget reducerer påvirkningerne kraftigt sammenlignet med brændte teglsten og mørtel. Selvom stenuldsisoleringen bidrager mere end glasuld, så ender ydervæggene på et lavere niveau sammenlignet med basisbygningen.

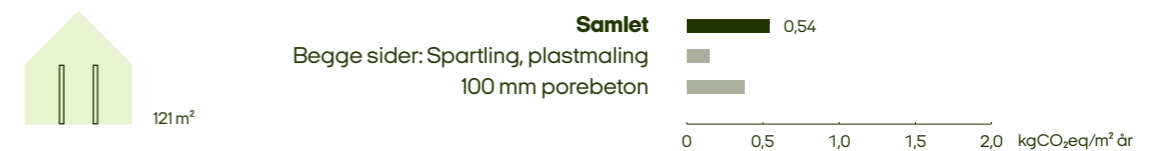
Da resten af materialevalget følger basisbygningen eller har en lignende påvirkning, er der ikke den store forskel i begge bygningers samlede resultat.



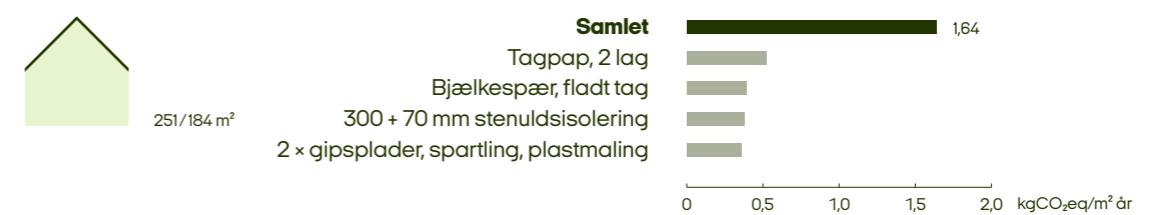
Ydervægge



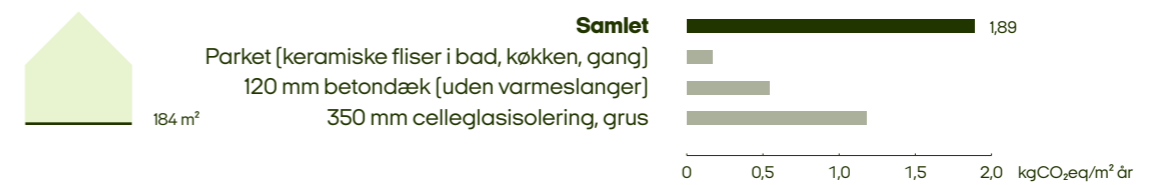
Indervægge



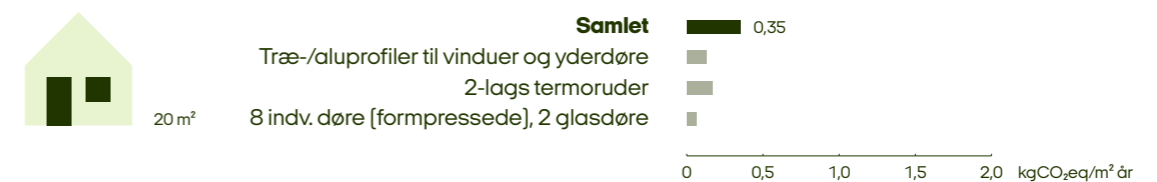
Tag og loft



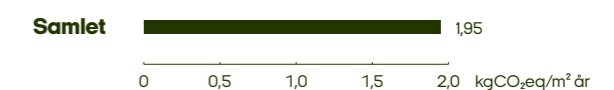
Terrændæk



Vinduer og døre



Resterende bygningsdele



Bygningseksempel 3

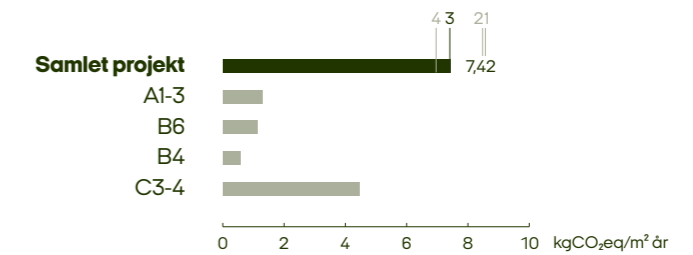
Eksemplet er et hus med vægge af træskelet og i øvrigt traditionelt materialevalg.

Dette eksempel er kendetegnet ved indvendige og udvendige vægge i træskelet. For at komme op på et ens energibehov til bygningsdrift ved alle eksempler, er den lette konstruktions mindre varmekapacitet udlignet med øget isolering. I ydervæggene er der derfor tilføjet et ekstra isoleringslag foran dampspærren. Sammen med en facade med bræddebeklædning bidrager ydervæggene kun med halvdelen af klimapåvirkningen sammenlignet med basishuset.

Det skrå tag svarer til basisbygningens konstruktion med gitterspær, mens tagbeklædningen udføres med bølgeplader. Tilsammen resulterer det i et lidt højere resultat end basisbygningens tag.

I terrændæk er der anvendt en mere effektiv skumisolering med strålingsabsorber. Ved at skære i isoleringstykkelsen, kan terrændækkets påvirkninger reduceres samlet set.

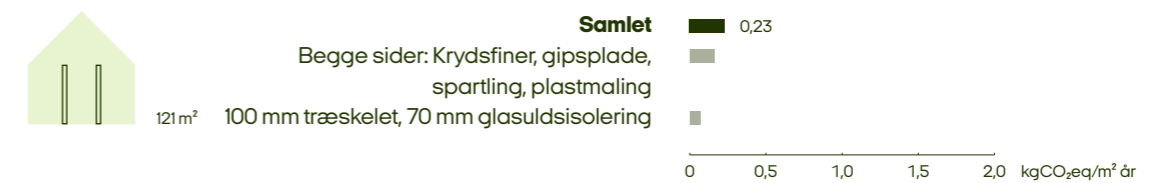
Da vinduer og yderdøre er udført i træ, er påvirkningerne lavere end for basisbygningens profiler med en yderside af aluminium. Samlet set gør den lette vægkonstruktion, at eksemplets klimapåvirkning er lavere end for de første to eksempler udført i tunge konstruktioner.



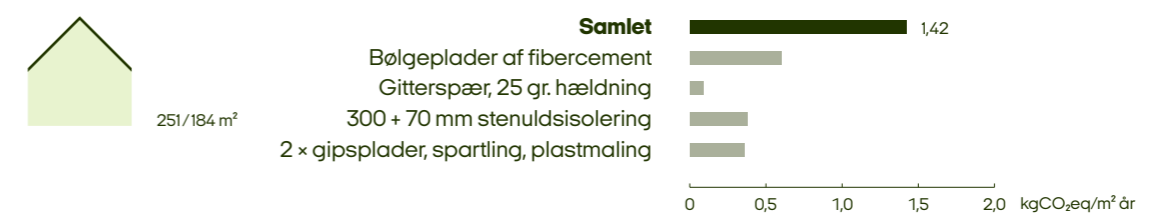
Ydervægge



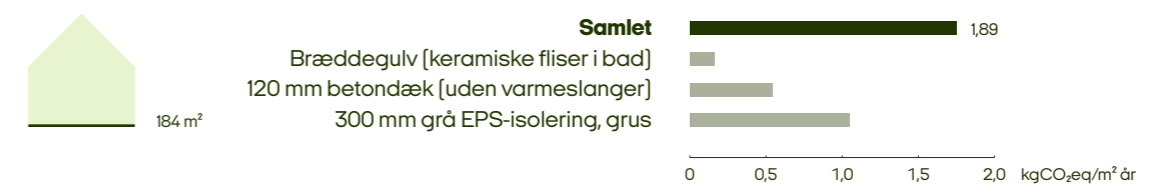
Indervægge



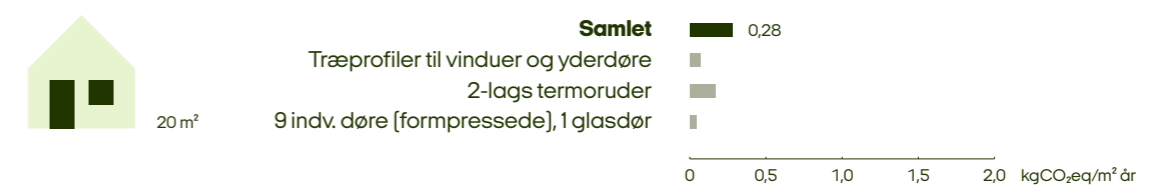
Tag og loft



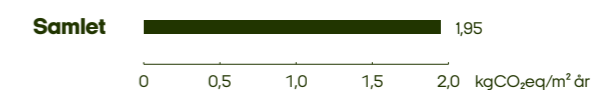
Terrændæk



Vinduer og døre



Resterende bygningsdele



Bygningseksempel 4

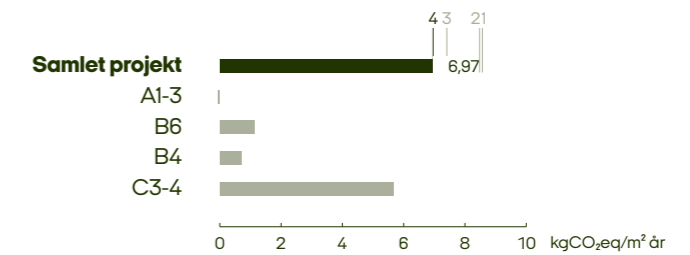
Eksemplet er baseret på bygningseksempel 3 med træskelet, men med optimeret materialevalg for isolering og klimaskærm.

Det sidste eksempel bygger på bygningseksempel 3, men med enkelte modifikationer. Den største forskel er fraværet af beton i terrændæk. Ved at anvende et let, træbaseret dæk på isoleringen, frafalder påvirkninger fra beton og armeringsstål. Da et let dæk forringer bygningens varmeakkumulation udover de lette vægge, bliver det her nødvendigt at isolere endnu bedre end i eksempel 3. Her anvendes der et kraftigt lag papiruldsisolering, som resulterer i, at isoleringens påvirkninger kan holdes på niveau med de øvrige bygninger. Facadens skiferbelægning ligger i den lave ende af facadeløsninger i disse eksempler, således at ydervæggens samlede påvirkninger ligger mellem eksempel to og tre.

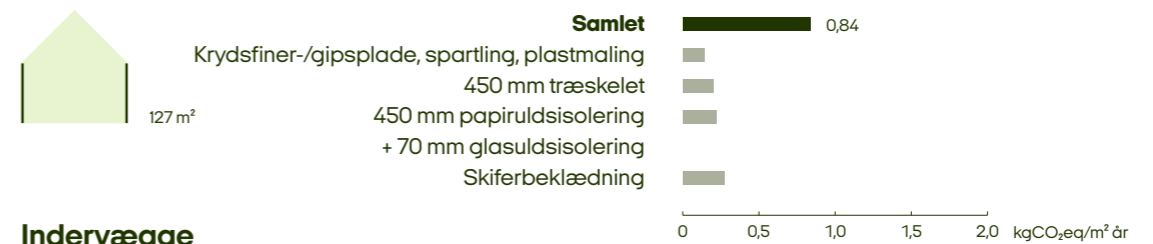
Bygningen har den samme tagkonstruktion med gitterspær som i de øvrige eksempler med skråtage. Til forskel anvendes her papiruld til isolering og skifer som tagbelægning, som resulterer i tagløsningen med den laveste klimapåvirkning blandt eksemplerne.

Til sidst er indervæggene optimeret i forhold til klimapåvirkningen. Isoleringen består af akustisk optimeret, tungere papiruld og overfladebehandlingen er afsluttet med silikat- frem for plastmaling.

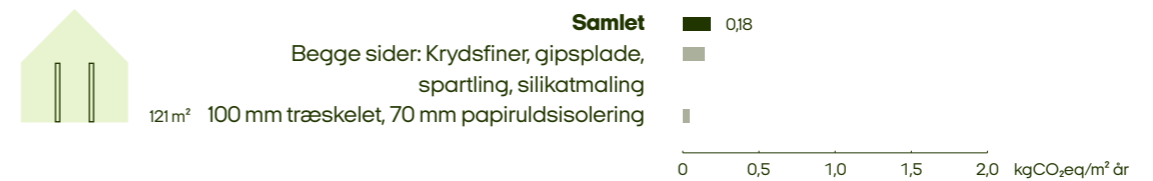
Alt i alt er klimapåvirkningen i dette eksempel ydermere reduceret i forhold til de tre andre eksempler. Resultatet kunne eventuelt forbedres yderligere med en træbaseret facadebeklædning eller i-profiler i væg- og tagkonstruktioner. Derudover kan der også tænkes optimering af de resterende bygningsdele, som ikke var medtaget i variation af materialevalget i denne publikation. Disse inkluderer fundamenter, tekniske installationer og udearealet.



Ydervægge



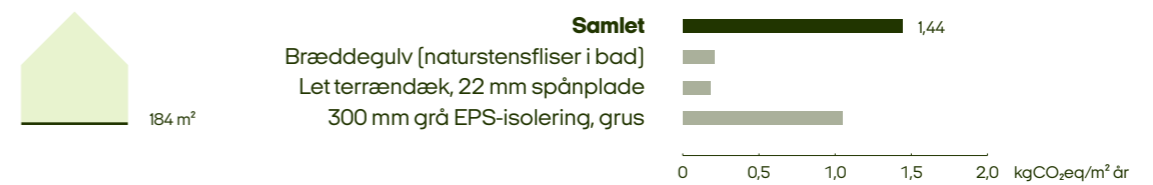
Indervægge



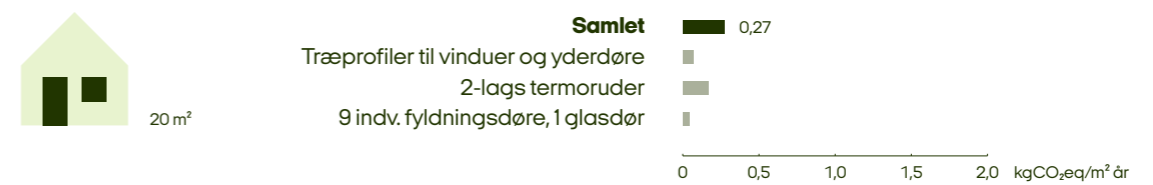
Tag og loft



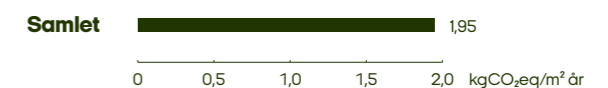
Terrændæk



Vinduer og døre



Resterende bygningsdele



Materialevalg: Varianter af bygningsdele

Valg af konstruktioner og materialer er central for bygningens klimapåvirkning. Her opsummeres det materialevalg, som blev brugt i de forskellige bygningseksempler.

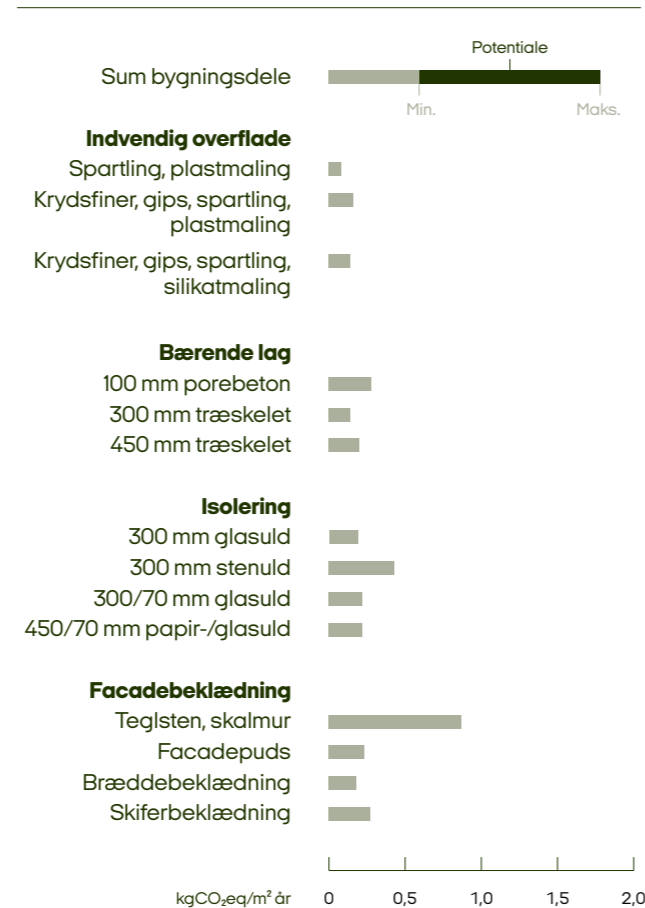
Denne side giver en oversigt over alle bygningsdele og konstruktionslag, som blev anvendt i de fire bygningseksempler på de foregående sider. Udvalget af bygningsdelene svarer til den del af bygningsmodellen, som blev varieret i disse eksempler. De resterende materialer, som fx indgår i installationer, udearealet og fundamenter, som indgår uændret i alle eksemplers resultater, er udeladt her.

Den øverste resultatbjælke for hver bygningsdel viser det spænd, som opnås ved at kombinere de konstruktionslag med de laveste og henholdsvis de højeste klimapåvirkninger. Disse kombinationer er ikke altid teknisk muligt og forekommer ikke nødvendigvis i eksemplerne.

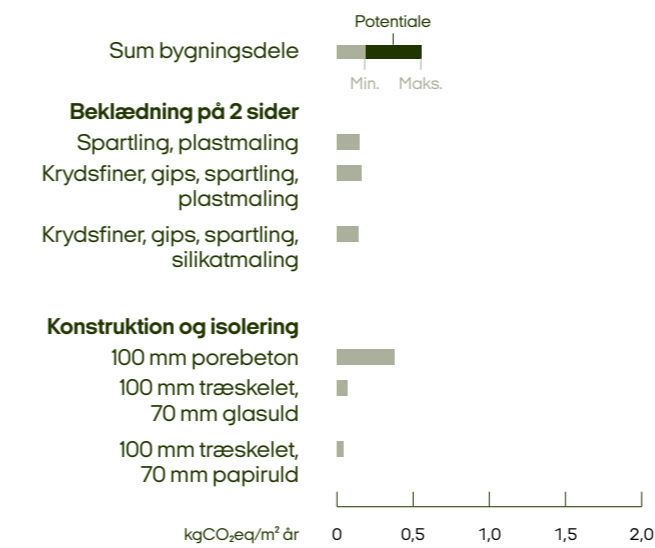
Resultaterne angives for en kvadratmeter baseret på eksempelbygningens areal, her 184 m². Det betyder, at påvirkninger afhænger af det konkrete areal, som bygningsdelen indgår i dette eksempel. En anden bygningsgeometri ville derfor ændre forholdet af påvirkninger mellem de forskellige bygningsdele. Den øverste resultatbjælke svarer altid til materialevalget i basisbygningen [eksempel 1].

Resultater for konstruktionslag er beregnet med alle i praksis nødvendige byggevarer, herunder dampspærre, underkonstruktioner, fastgørelsesmidler, mørtel eller armering. Beskrivelsen er derimod holdt overskueligt og nævner kun de vigtigste kendetegn af konstruktionslaget

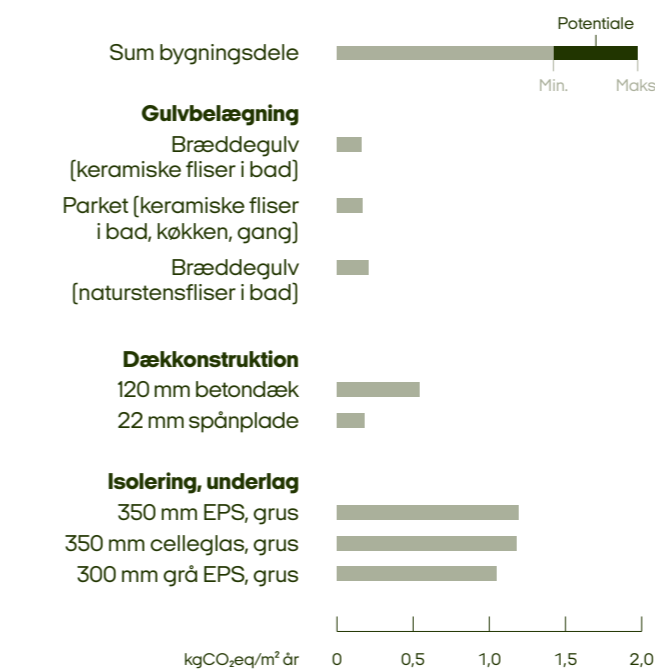
Ydervægge



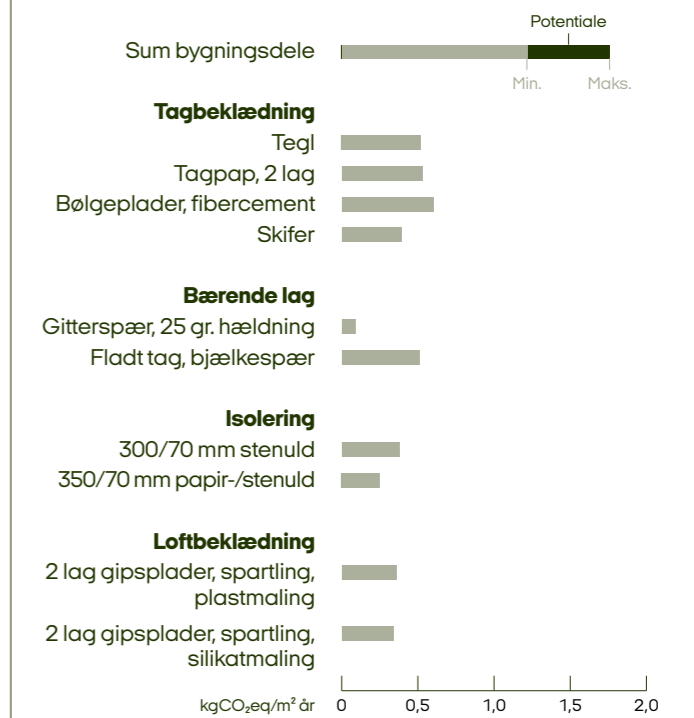
Indervægge



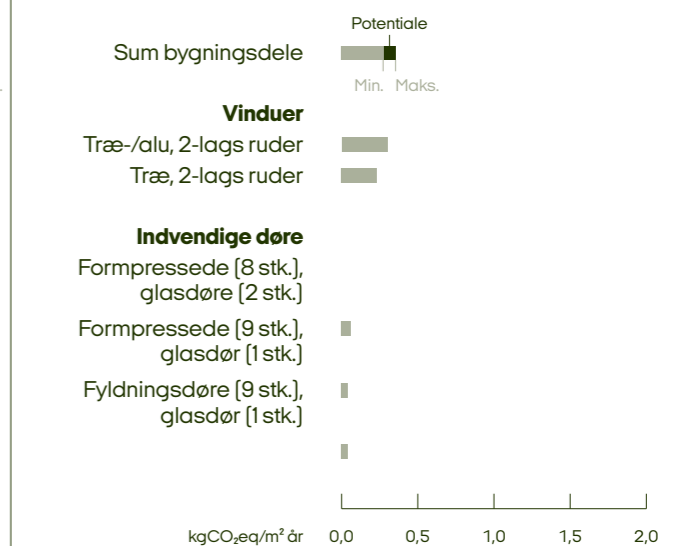
Terrændæk



Tag og loft



Vinduer og døre



Analyse af resultater

Data, som indgår i en LCA for en hel bygning, kan være uoverskuelige. Med de rigtige analyseredskaber kan resultaterne ses fra forskellige vinkler og hjælpe med at finde potentialet for forbedringer. Her gennemgås et udvalg af analysemulighederne i LCAbyg.

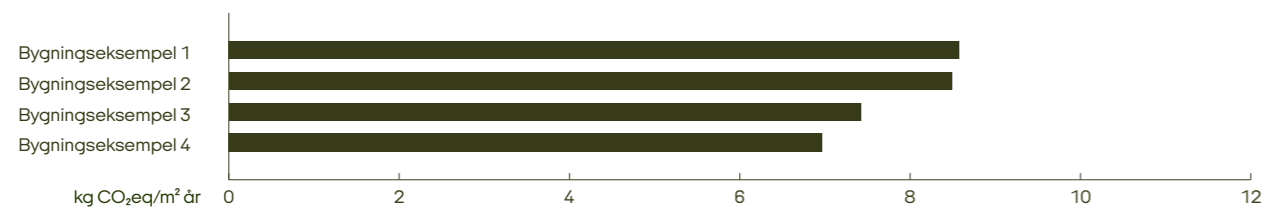
Hot-spot analysen

Hot-spot analyser viser resultater sorteret efter størrelsen af klimapåvirkningen. På denne måde kan man hurtigt finde de elementer, som bidrager mest til projektets samlede klimapåvirkning. Listen kan vises for forskellige niveauer som grupper, konstruktionslag eller byggevarer (figur 9).

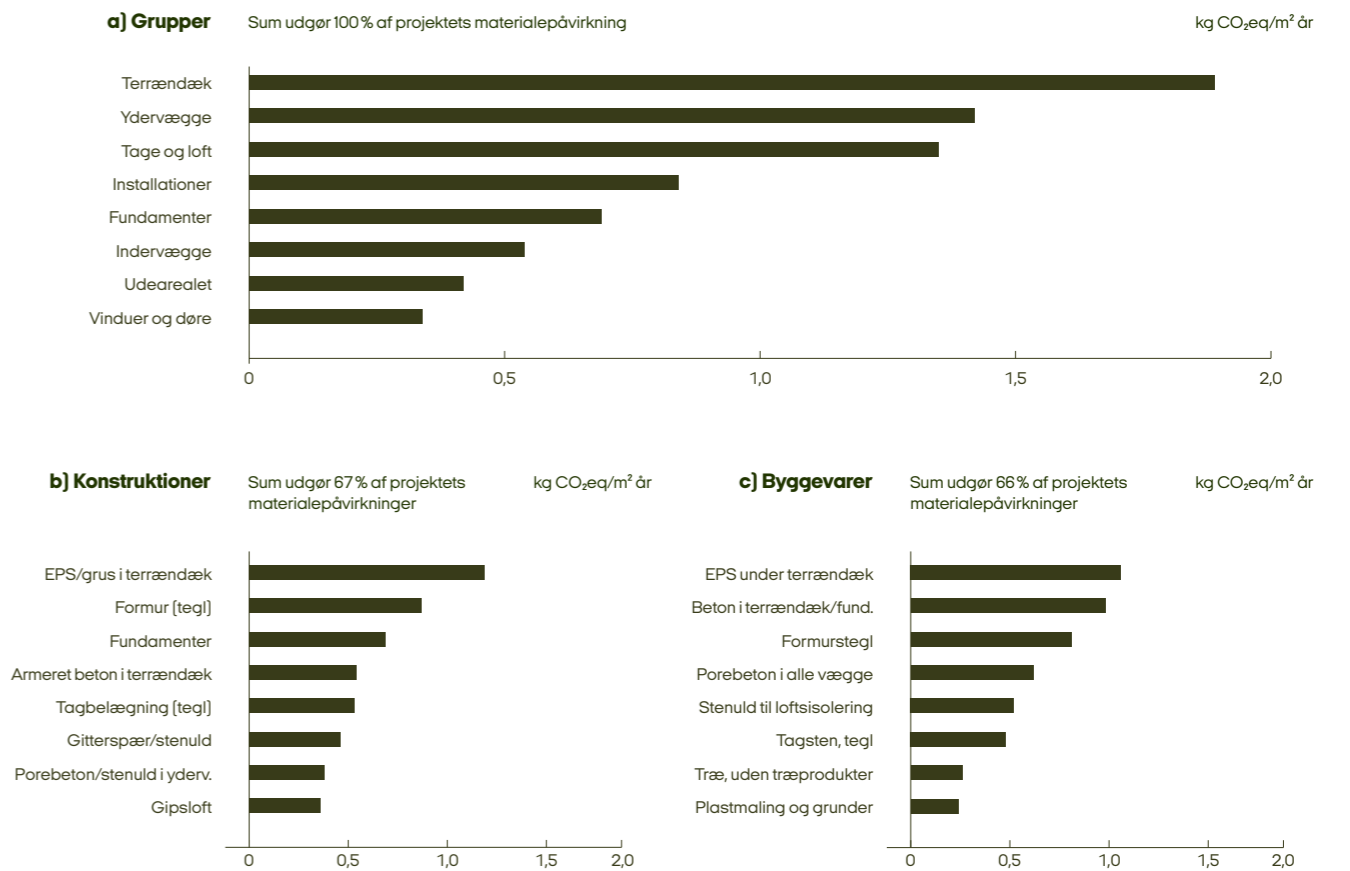
Akkumuleret

Af figur 10 kan man se udviklingen af resultater år for år i hele betragtningsperioden. Grafen illustrerer udskiftninger, som fremstår som spring, da der sker påvirkninger forbundet med de udskiftede og de nye materialer. De større spring i starten af livscyklussen svarer til produktion af byggevarer i forbindelse med opførelsen, mens det sidste spring tydeliggør nedrivningens indflydelse. Den akkumulerede visning er også nyttig til at se forholdet mellem påvirkninger fra materialer og drift. Dette kan eksempelvis bruges til at optimere de materialemæssige indgreb set i forhold til den sparede energi (figur 10).

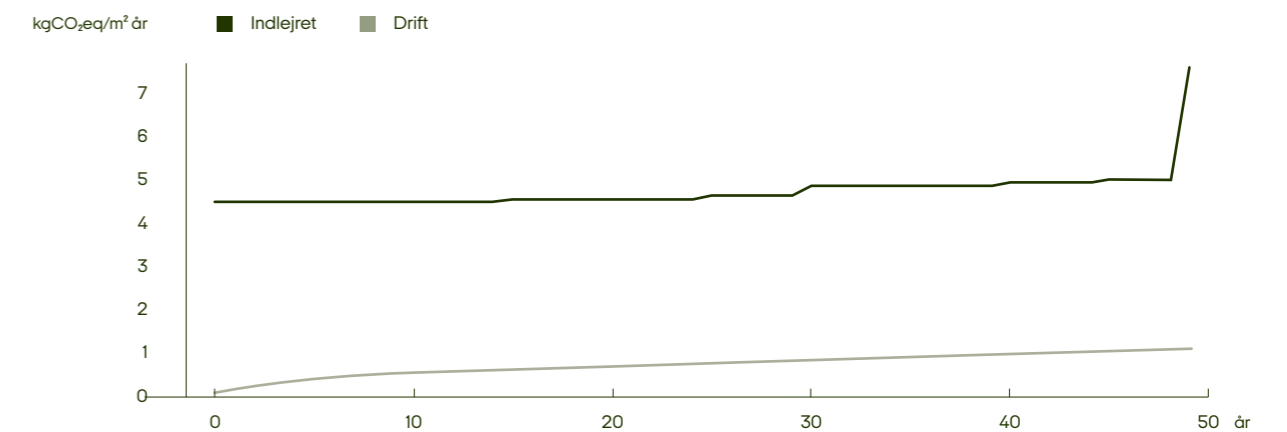
Figur 8. Resultater for de 4 bygningseksempler (side 28-35).



Figur 9. Ranglister, hvor resultater er sorteret efter de 10 emner med den højeste klimapåvirkning i projektet.
a) Gruppen b) Konstruktionslag c) Byggevarer



Figur 10. Akkumuleret visning af klimapåvirkning for materialer og drift over betragtningsperioden. Springene i grafen for materialer skyldes udskiftninger. Klimapåvirkning for materialer og energi udgør henholdsvis 68.800 og 10.200 kgCO₂eq eller 79 tonsCO₂eq i alt.



Ordliste

Betragtningsperiode

Den periode, som indgår i beregninger af bygningens livscyklus. Ved endt betragtningsperiode beregnes også påvirkninger fra nedrivningen af bygningen, selvom den kan foregå senere. FBK fastlægger perioden til 50 år, og den forventes at være kortere end bygningens reelle levetid.

Byggevarer

I LCA for bygninger betegner byggevarer den mindste enhed, som bygningen består af. Det handler typisk om produkter, som kan bestå af ét eller flere materialer, fx beton eller vinduesruder.

Bygningsmodel

Den samlede mængde af materialer i en bygning og tilhørende udeareal.

CO₂-aftryk, carbon footprint

Se *Klimapåvirkning*.

End of life, EoL / Endt levetid

Tidspunktet, hvor en byggevarer regnes med at være udtjent efter levetidens slut, betegner C-fasen i en bygnings eller byggevarens livscyklus.

Environmental Product Declaration, EPD

Se *Miljøvaredeklaration*.

Funktionel ækvivalent

To emner med sammenlignelige primære funktioner og leverede ydelser betegnes som funktionel ækvivalente.

Frivillig bæredygtigheds-klasse, FBK

Statslig vejledning, som definerer regler for og dokumentation af bæredygtigt byggeri i Danmark. LCA er en del af FBK blandt andre krav. Læs mere på baeredygtighedsklasse.dk.

Genbrug, genanvendelse

Når materialer indgår i en ny livscyklus. Genbrug er direkte anvendelse af fx en eksisterende dør i en ny væg. Genanvendelse er omdannelse til et nyt produkt, fx knust beton som vejfyld.

Global Warming Potential, GWP

Se *Klimapåvirkning*.

Klimapåvirkning

Miljøpåvirkningsindikator for den potentielle globale opvarmning af jordens overfladetemperatur på baggrund af øget koncentration af drivhusgasser, som bidrager til drivhuseffekten. Indikator regnes i kuldioxid-ækvivalenter, hvor de forskellige drivhusgassers påvirkning bliver omregnet til kuldioxids effekt på den globale opvarmning i atmosfæren. Enhed: kg CO₂eq/m² pr. år.

Konstruktion

Betegner her en funktionel del af en bygningsdel, fx ydervæggens facadebeklædning eller etagedækkets gulv. Består af en eller flere byggevarer.

Levetid

Levetidene af bygningsdele er tidsperioden fra indbygningen til udskiftningen. Der anvendes generiske værdier fra SBI-rapport 2013:30.

Life Cycle Assessment, LCA

Se *Livscyklusvurdering*

LCAByg

Software, som understøtter udførelsen af LCA af bygninger og bygningsdele. Programmet kan bl.a. bruges til LCA i henhold til FBK. Det kan hentes gratis på lcabyg.dk.

Livscyklus

Bygningers livscyklus er perioden fra udvinding af råstoffer til nedrivningen, dvs. fra vugge til grav. Den er opdelt i livscyklus-faser, jf. DS/EN 15978.

Livscyklusvurdering, LCA

En standardiseret vurdering af potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug over en bygnings livscyklus.

Materialevalg

Ved valg af materialer menes her, hvilke byggevarer der indgår i en bygning eller dele af den.

Miljødata

Angiver klimapåvirkning og andre miljøindikatorer for en byggevarer eller proces [transport, energi]. Data for byggevarer er reguleret i DS/EN 15804. Der findes generiske data for en type af byggevarer og data for specifikke brancher, producenter eller produkter.

Miljøpåvirkning

Bygningens påvirkning af miljøet er yderst komplekst i virkeligheden. I LCA bruges derfor forenklede en forenklet række af indikatorer defineret i standarder [DS/EN 15978 og DS/EN 15804]. Klimapåvirkningen er den mest kendte af indikatorerne og den, der anvendes i FBK og denne publikation.

Miljøvaredeklaration, EPD

En vurdering af en byggevarers miljøaftryk efter DS/EN 15804, som kan indgå i en LCA af en bygning. Inden for bestemte produkter skal man overholde ensartede beregningsregler [Product Category Rules, PCR] for at sikre sammenlignelige resultater.

Indikatorer for miljøpåvirkning og ressourcebrug



Global Opvarmning [GWP]

Enhed CO₂-ækvivalenter

Problem Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimænderinger til følge.



Ozonlagsnedbrydning [ODP]

Enhed R11-ækvivalenter

Problem Nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag som beskytter flora og fauna mod solens skadelige UV-A og UV-B-stråler.



Fotokemisk ozondannelse [POCP]

Enhed Ethen-ækvivalenter

Problem Bidrager i forbindelse med UV-stråler til at danne jordnær ozon (sommersmog) som bl.a. er skadelig for luftvejene.



Primærenergiforbrug [PEtot]

Enhed MJ eller kWh

Problem Et højt forbrug af ressourcer i primærenergiform fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til udtømmning af naturlige ressourcer.



Forbrug af sekundære brændsler [Sek]

Enhed MJ eller kWh

Problem Sekundære brændsler (f.eks. affald) er i princippet en begrænset ressource, og derfor kan et højt forbrug af sekundære brændsler indirekte føre til ressourceknaphed.

Udover klimabelastningen (Global Opvarmning) skal resultater i henhold til LCA-kravet desuden opgøres i miljø- og ressourceindikatorerne vist på denne side.



Forsuring [AP]

Enhed SO₂-ækvivalenter

Problem Reagerer med vand og falder som "sur regn", der bl.a. medvirker til at nedbryde rodsystemer og udvaske planternes næringsstoffer.



Nærings saltbelastning [EP]

Enhed PO₄-ækvivalenter

Problem For høje tilførsler af næringsstoffer fremmer uønsket plantevækst i sarte økosystemer, f.eks. algevækst med fiskedød til følge.



Udtømmning af abiotiske ressourcer - fossile brændsler [ADPf]

Enhed MJ

Problem Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømmning af tilgængelig energi i form af fossile brændsler.



Udtømmning af abiotiske ressourcer - grundstoffer [ADPe]

Enhed Sb-ækvivalenter

Problem Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømmning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller eller mineraler.

Referencer og litteratur

BUILD, 2020a.
FBKtest.dk

BUILD, 2020b.
LCAbyg.dk

BUILD, 2020c
SBI-rapport 2020:04,
Klimapåvirkninger fra 60 bygninger.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt-
und Raumforschung.
Ökobaudat version 13-03-2020,
oekobaudat.de.

CEN, 2012.
DS/EN 15804:2012
Bæredygtighed inden for byggeri
og anlæg – Miljøvaredeklarationer
– Grundlæggende regler for
produktkategorien byggevarer

CEN, 2012.
DS/EN 15978:2012
Bæredygtighed inden for byggeri og
anlæg – Vurdering af bygningers miljø-
mæssige kvalitet – Beregningsmetode.

CEN, 2019.
DS/EN 15804:2019
Bæredygtighed inden for byggeri
og anlæg – Miljøvaredeklarationer
– Grundlæggende regler for produkt-
kategorien byggevarer.

COWI, 2020.
Opdaterede emissionsfaktorer
for el og fjernvarme.

SBi, 2013.
SBI-rapport 2013:30, Levetider
af bygningsdele ved vurdering af
bæredygtighed og totaløkonomi.

SBi, 2015.
Introduktion til LCA på bygninger.
Udgivet af Energistyrelsen.

SBi, 2018.
SBI-anvisning 213, Bygningers
energibehov.

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018.
Bygningsreglementet 2018.

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2020.
Baeredygtighedsklasse.dk.

Kolofon

LCA i praksis
Introduktion og eksempler på
livscyklusvurderinger i byggeprojekter
1. version, januar 2021

Hovedforfattere
Kai Kanafani, Harpa Birgisdottir
[BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø,
Aalborg Universitet]

Redaktion
Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen
i samarbejde med BUILD – Institut for
Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet

Udgiver
Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen
Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

→ TBST.dk
→ Bæredygtighedsklasse.dk

ISBN
978-87-90661-93-9

Design
e-Types

Der gøres opmærksom på,
at denne publikation er omfattet
af ophavsretsloven.



