



Projektnr: **PSO 349-051**  
Projekttitle: **Lavenergibygninger og indlejret energi i et bæredygtigheds-  
perspektiv: ny viden & værktøjer for rådgivere og bygherrer**

BYGNINGERS ENERGIEFFEKTIVITET,  
INDEKLIMA OG BÆREDYGTIGHED

A. C. MEYERS VÆNGE 15  
2450 KØBENHAVN SV  
SBI.DK  
CVR 29 10 23 84

+45 9940 2525  
KAI KANAFANI  
KAK@SBI.AAU.DK

DATO 12.12.2018  
JOURNAL NR. 883019

## Projektperiode

01.05.2017 – 31.12.2018

## Organisation

### *Projektpartner*

---

Arkitektforeningen	Martin Yhlén
IDA Byg	Kurt Emil Eriksen
Konstruktørforeningen	Jette Leth Djælund
Bygherreforeningen	Graves K. Simonsen

### *Projektgruppe*

---

SBi	Kai Kanafani, projektleder
SBi	Regitze Zimmermann

### *Ekstern konsulent*

---

C.F. Møller Architects	Rob Marsh
------------------------	-----------

## Indhold

Dansk resumé	2
English summary	2
Projektets formål	3
Processen	3
Resultater og perspektivering	5
Bilag 1 - Beregningsværktøj LCAByg 4.0 beta	6
Bilag 2 - Designguide til LCA i tidligt bygningsdesign	6



## Dansk resumé

Materialernes indlejrede miljøbelastning er nu af samme størrelsesorden som belastningen fra driftsenergiforbrug, set ud fra BR18-energikrav. Projektet har skabt lettilgængelige redskaber til vurdering af indlejrede påvirkninger som primærenergi og klimabelastning allerede tidligt i designprocessen, så de indlejrede og driftsrelaterede påvirkninger reduceres mest effektivt. Indlejret energi vurderes i dag med beregningstunge LCA-værktøjer, som er udviklet til bæredygtigheds certificering efter afsluttet projektering. Disse kræver omfattende og præcise data-mængder, som typisk ikke er fastlagt, og heller ikke står til rådighed for rådgivere og bygherrer i den tidlige designfase. Projektets leverancer bestod af en videreudvikling af brancheværktøjet LCAByg og en designguide. Derudover har projektet skabt en stor kontaktflade til byggebranchen, som har genereret et vidensløft hos interesserede, der ikke har arbejdet med LCA før. Samtidig har projektet kunne høste værdifulde tilbagemeldinger til målrettelse af både designguide og værktøj. Den nye LCAByg 4.0 beta har en nemt tilgængelig brugergrænseflade, hvor indtastning af bygningsdele og mængder følger et skematisk forløb. Et eksempel katalog over bygningsdele muliggør en hurtig modellering af bygningen og brugeren bliver guidet i at lave nødvendige estimeringer af løsninger, som ikke er defineret i projektet endnu. Bygningsmodellen på overslagsniveau kan erstattes med mere specifik data i takt med byggeprojektets udvikling. I alt har cirka 260 deltager, fordelt på 12 aktiviteter, bidraget til at integrere leverancerne bedst muligt i aktørernes forskellige workflows. Den forenkede tilgang til LCA forventes at øge anvendelsen af LCA-metoden i byggebranchen, som kan være med til at kortlægge og reducere bygningers driftsmæssige og indlejrede miljøpåvirkninger.

## English summary

The embodied environmental impacts from materials now have the same order of magnitude as operational impacts, primarily due to recent decade's reduction of operational energy usage in new buildings. The project has aimed at developing approaches and tools for assessing and reducing embodied impact already in early design stages, based on the LCA method. By doing so, low environmental impact building can be achieved by integrating LCA in decisions early in the design process, when the potential for optimizing design is greatest. Based on a triple approach, the project has generated a new environmental design and assessment tool, a further development of LCAByg, an LCA designguide and has achieved a vast exchange of knowledge and learning within the building industry. The new LCAByg 4.0 beta features a simplified user interface with a building-like structure, integration into the real life workflow of architects and engineers, a vast catalogue of construction details and aiding functions to establish the Bill of Materials – being one of the most time-consuming operations in LCA, especially in programming and sketch stages. The project has enjoyed around 260 participants across 12 activities, helping LCA newcomers on the way to considering environmental assessments in their professional practice and, not least providing the researchers with valuable feedback for tailoring the tool and designguide for best user-value and productivity. The new approach is expected to lower the threshold for the building industry to apply and demand LCA in order to reduce in the environmental impact of the building sector.

## Projektets formål

Materialernes indlejrede miljøbelastning er nu af samme størrelsesorden som belastningen fra driftsenergiforbrug, set ud fra BR18-energikrav. Projektet skaber lettilgængelige redskaber til vurdering af indlejrede påvirkninger som primærenergi og klimabelastning allerede tidligt i designprocessen, så de indlejrede og driftsrelaterede påvirkninger reduceres mest effektivt.



Indlejret energi vurderes i dag med beregningstunge LCA-værktøjer, som er udviklet til bæredygtighedscertificering efter afsluttet projektering. Disse kræver omfattende og præcise data-mængder, som typisk ikke er fastlagt, og heller ikke står til rådighed for rådgivere og bygherrer i den tidlige designfase.

Projektets formål er at skabe ny viden og lettilgængelige værktøjer til vurderingen af indlejret energi, så rådgivere og bygherrer kan træffe energirigtige beslutninger tidligt i designprocessen for renoveringer og nybyggeri, og dermed reducerer både indlejret energi og driftsenergi i et bæredygtighedsperspektiv. Målgruppen er bygherrer, rådgivere, beslutningstagere og relevante uddannelsesinstitutioner.

### Processen

Der blev nedsat en følgegruppe, som løbende og i møder har sikret fremdrift i projektet og støttet rekruttering af medlemmer til projektdeltagelse. Følgegruppen blev bemanded af de fire projektpartner. Projektet bestod af seks sammenhængende, faglige arbejdsplaner, som blev udført i tæt samarbejde med målgruppen gennem tværfaglige workshops for at kvalificere, formidle og forankre resultaterne i den tidlige designproces.

### Arbejdsplaner og aktiviteter

Projektet har været karakteriseret af et stort antal arrangementer i alle faser. Det har vist sig at rådgivervirksomheder og deres ansatte har stor interesse i at lære mere om LCA. Både dem, som har erfaring på området, men i høj grad også øvrige aktører. De er villige til at yde en indsats for at tilegne sig den viden, der skal bruges for at komme i gang med LCA-ydelser. Deltagerne bestod af ca. 90 individuelle deltagere på workshop 1-5, 100 til kurserne til professionelle og 70 til kurser til studerende.

AP	Emne	Arrangement	Dato	Sted
1	Videngrundlag	Workshop 1	28.11.17	Arkitektforeningen, KBH
2	Beregningsværktøj	Workshop 2	23.1.18	SBi, KBH
3	Bygningsdele og materialer	Workshop 3	13.3.18	IDA, KBH
4	Eksempelkatalog	Høring		
		Workshop 4	4.9.18	Konstruktørforeningen, KBH
5	Kurser til professionelle	Kursus 1	29.1.18	Aalborg Universitet, Aalborg
		Kursus 2	9.11.18	VIA University, Aarhus
		Kursus 3	14.11.18	IDA, KBH
		Kursus 4	22.11.18	SBi, KBH
		Kursus 5	29.11.18	UCL, Odense
	Kurser til bygningskonstruktørstuderende	Kursus 6	26.11.18	UCN, Aalborg
		Kursus 7	5.12.18	VIA University, Aarhus
6	Designguide	Workshop 5	10.12.18	Bygherreforeningen, KBH
7	Projektledelse			

### AP1. Videngrundlag

Definitioner og afgrænsninger blev drøftet og fastlagt, først i et udkast af SBi og herefter på workshop 1 med repræsentanter primært fra rådgiverbranchen.

Indlejret energi indgår typisk i sammenhæng med en vurdering af bygningers miljømæssige bæredygtighed. Den pågældende standard EN 15978, som definerer kriterier for denne vurdering, indeholder derudover en række andre indikatorer for miljøpåvirkning og ressourcefor-



brug. Da der i praksis anvendes afgrænsninger fra denne standard, herunder i certificeringsordninger, branchens oplæg til en frivillig bæredygtighedsklasse og beregningsværktøjet LCAbyg, er der valgt i dette projekt også at medtaget klimabelastningen som relevant miljømæssig belastningsindikator ved siden af ressourceindikatoren primærenergi.

De øvrige definitioner blev fastlagt under hensyntagen af dagens praksis i Danmark og gældende standarder. Det vedrører emnerne:

- Livscyklusfaser
- Levetider af bygninger og bygningsdele
- Fuldstændighed
- Miljødata

Udover en definition af kriterier for vurdering til energiforbrug og klimabelastning af bygninger, blev der identificeret et behov for en kravspecifikation til udformningen og funktioner af beregningsværktøjet til de fremtidige brugere for at sikre størst muligt antal brugere og en høj produktivitet. En behovsafklaring resulterede i, at den størst mulige værdi ville opnås ved at udvide og tilpasse det eksisterende værktøj LCAbyg. De væsentligste forbedringer inkluderer en ny brugergrænseflade til nemmere indtastning af mængder, overskuelig struktur af bygningsmodellen og hjælp til overslagsberegning af materialemængder.

Derudover blev der opbygget et eksempel-katalog over bygningsdele, som giver eksempler til modellering af de mest gængse bygningstyper op til 5 etager. Bygningsdele i kataloget er delt i tre lag: Et ydre, et indre og et midterlag med isolerende og bærende funktioner. Lagdelingen udgør et kompromis mellem forenkling og nøjagtighed, når prædefinerede lag kan kombineres til mere specifikke bygningsdele. Eksempelkonstruktionerne muliggør en hurtig og tidsbesparende indgang til LCA, især hvis projektet ikke er detaljeret endnu. Det kan tilpasses eller erstattes med de endelige løsninger i en senere fase af projektet.

Supplerende til kataloget blev der udarbejdet værdier og formler til beregning af mængder af bygningsdele, hvis mængde typisk ikke foreligger i tidlige faser, herunder installationer og fundamenter.

Alt i alt skal værktøjet imødekomme forskellige gradueringer af datagrundlag i projektfaserne fra byggeprogram og skitsefase, dvs. den første konkretisering af anvendelse, til aflevering af projektet.

#### *AP2. Beregningsværktøj*

Arbejdspakken udgør en beskrivelse af en ny version af LCAbyg 4.0 beta, som imødekommer definitioner og afgrænsning af miljøvurdering og krav til beregningsværktøjet fra forrige arbejdsplan. Denne beskrivelse samt en dummy om brugergrænsefladen udgjorde materialet til behovsafklaringen med bygebranchens aktører i første arbejdsplan i workshop 2. værktøjets kravspecifikation, herunder med hensyn til integration i designprocessen, relevante output, simplificering og produktivitet blev drøftet under workshoppen og programmering af løsningen blev igangsat. Workshop 2 blev afholdt sammen med Innobyg projektet Smidiggørelse af LCA i tidligt design.



#### *AP3/4. Bygningsdele og materialer til eksempel-kataloget*

I arbejds pakken blev vilkår og afgrænsningen for et eksempel-katalog defineret, herunder udvalg af typiske løsninger til de valgte bygningstyper op til 5 etager:

- Enfamiliehuse
- Rækkehuse
- Etageboliger
- Kontorbygninger
- Skoler og institutioner

Gængse og alternative materialer med lavt miljøaftryk blev samlet og drøftet med henblik på optag i eksempel-kataloget. Projekt-deltagerne har bidraget med input og diskussioner i workshop 3.

Udover inputs fra workshop 3 har en række forskellige rådgiverfirmaer og tegnestuer i foråret og sommer 2018 bidraget med input og sparring til forskellige emner i eksempel-kataloget: Fra opbygning af bygningsdele til udvikling af formler til overslagsberegning af mængder, herunder til installationer.

Arbejds-pakke 4 udgør en høring af udkast til eksempel-kataloget og blev rundet af med høringsworkshop 4, som markerede afslutning af arbejdet med bygningsdelene til kataloget.

#### *AP5. Kurser til professionelle og studerende*

Da den første betaversion af beregningsværktøjet LCAByg 4.0 stod klar, blev der afholdt gratis kurser til professionelle, der potentielt kommer til at arbejde med LCA i byggeri, dvs. arkitekter, ingeniører og bygningskonstruktører primært fra rådgiverfirmaer, tegnestuer, entreprenørfirmaer og boligorganisationer. Kurset startede med en introduktion til LCA, da de fleste deltagere ikke havde arbejdet med LCA før. Kursisterne beregnede derefter en miljøprofil af et af deres egne projekter og udviklede et eller flere alternativer med lav miljøprofil.

Udbyttet for selve kursisterne og effekten til samfundet var todelt. Mange professionelle har for første gang stiftet bekendtskab med LCA, materialers indlejrede energi og miljøprofiler og hvordan man rent praktisk kan kvantificere, beskrive og optimere dem.

Udover den konkrete deltageres læring er forhåbningen at flere firmaer ville tage metoden til sig og tilbyde LCA som ydelser i deres firma til fordel for bygherrer og samfundet.

Kurserne har også udgjort en erfaringsopsamling, idet branchens behov for viden og vejledning blev afklaret. Denne erfaring er indgået i færdigprogrammeringen af LCAByg 4.0 og udviklingen af designguiden

Indsamling af viden er sket ved spørgeskemaer, sparrings/dialog under kurserne og analyse af afleverede projektfiler.

#### *AP6. Designguide*

Designguiden skal vejlede branchen i at udføre LCA for at reducere indlejret energi og klimabelastning. Guiden er et supplement til værktøjet, LCAByg og beskriver, hvad LCA er, hvilke regler og definitioner, der gælder og giver eksempler på analyser, der kan være nyttige at gennemføre. Erfaringerne fra workshops og kurser indgår i guiden ved forklaringer af problemstillinger i en praktisk anvendelig form. Guiden kan læses fra start til slut eller som opslagsbog.

Anvendelse af LCAByg er beskrevet i brugermanualen, der medfølger det gratis værktøj. Værktøjet kan downloades på [www.LCAByg.dk](http://www.LCAByg.dk).



## Resultater

Resultaterne kan inddrages i arbejdsredskaber og vidensformidling. Arbejdsredskaberne inkluderer LCAByg 4.0 beta, som er en videreudvikling af det gratis brancheværktøj, som udgives af Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, udviklet af SBI. Designguiden er både et redskab og en formidling af metoder til vurdering af bygningers miljømæssige ydeevne med særlig fokus på indlejret energi og klimabelastning. Begge leverancer er offentliggjort og gratis tilgængeligt på

- Publikation: <https://sbi.dk/Pages/LCA-i-tidlig-bygningsdesign.aspx>
- Værktøj: <https://www.lcabyg.dk>

Projektets workshops, kurser og bilateralt samarbejde har givet projektet en stor kontaktflade. I alt har cirka 260 forskellige personer deltaget i et eller flere af arrangementer. Derudover har SBI holdt bilateral sparring med byggevarereproducenter, brancheforeninger og rådgivere via møder, telefonopkald og mailkorrespondance, primært i forbindelse med eksempel-kataloget. Offentligheden blev orienteret om projektets faser ved opslag til deltagelse i arrangementer under de respektive arbejdsplaner via SBI's og projektpartneres mediekanaler.

Offentliggørelse af LCAByg 4.0 beta og designguide i digital format til download sker i januar 2019. Derudover har SBI planlagt to LCA kurser i maj og november 2019, delt i en halv dag teori og en hel dag praksis. Deltagere og interessenter i projektet vil blive direkte orienteret om offentliggørelse af leverancerne og mulighed for kurser i januar. Yderligere formidling sker via SBI's og partneres nyhedsbreve og hjemmesider.

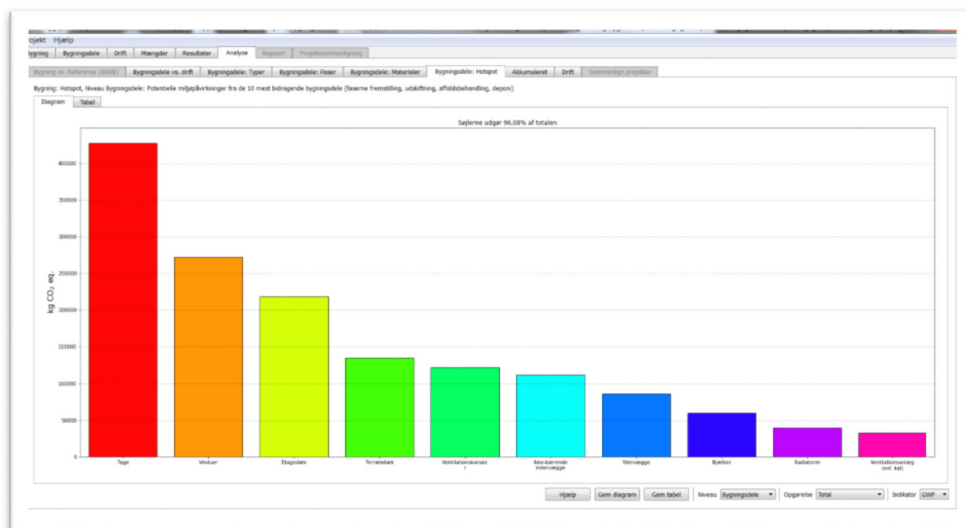
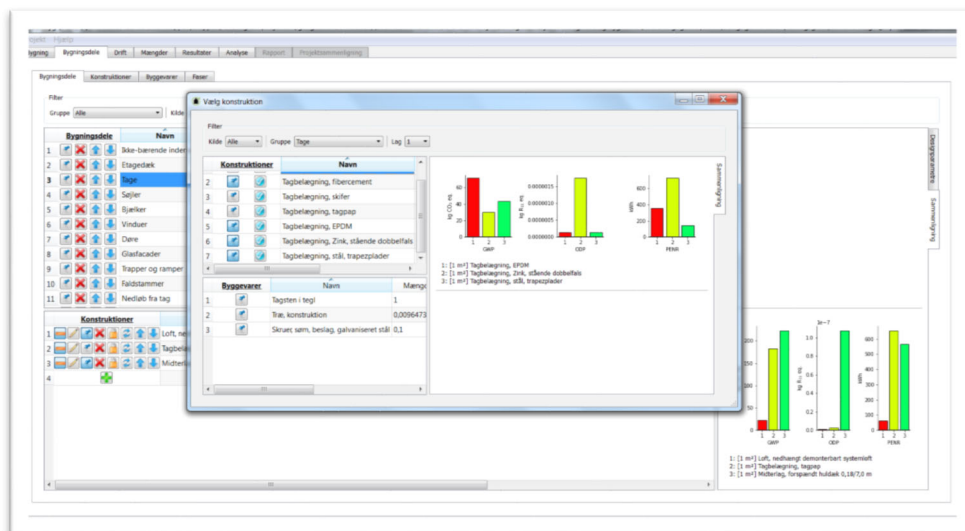
## Perspektivering

LCA er en central metode til at måle bygningers miljøpåvirkning, som kommer til at få en stigende betydning i fremtiden. Efterspørgsel opstår via bygherrens miljøpolitik eller i forbindelse med bæredygtighedscertificering. Derudover har Europa Kommissionen etableret Level(s), en ny ordning med kriterier til dokumentation af bygningers bæredygtighed. Den største stigning i efterspørgsel af LCA ydelser forventes efter implementering af den nye frivillige bæredygtighedsklasse i bygningsreglementet, som er under udvikling i øjeblikket.

Det vurderes, at den forenkledte tilgang til LCA, som blev udviklet i nærværende projekt, bidrager til en større accept blandt byggebranchens aktører fra at opfatte LCA som en besværlig og kompliceret øvelse. Dette er en forudsætning for at imødekomme en stigende efterspørgsel for reduktion af bygningers miljøaftryk, idet omkostninger og uklarheder bliver reduceret. Rådgiverbranchen har allerede vist stor interesse og er ved at blive klædt på til udførelse af LCA, når byggeriets bygherre og investorer satser på en omstilling til grønnere projekter.



## Bilag 1. Beregningsværktøj LCAbyg 4.0 beta





## Bilag 2. Designguide til LCA i tidligt bygningsdesign

KORT FORTALT OM LCA

### OVERBLIK

Bygninger står for en væsentlig del af ressourcforbrug og dannelse af af-fald, og der er derfor meget at hente ved at nedbringe bygnings miljø-tryk. Livscyklusvurdering (Life Cycle Assessment, LCA) er en anerkendt og standardiseret metode til vurdering af potentielle miljøpåvirkninger af produkter og ydelser. Metoden er baseret på en kvantificering af miljøpå-virkning, som muliggør sammenligning af løsninger. Med baggrund i LCA metoden kan der defineres mål i form af reference- eller grænseværdier, i stil med energirammen, under forudsætning af en række forudsætninger og definitioner er overholdt.

Alførende for LCA er betragtningen af bygningens livscyklus frem for en snæver betragtning af en enkelt fase eller dele af en fase, for eksempel driftsenergi i brugsfasen. I stedet for at begrænse vurderingen til drifts-energi behov, medregnes der også tidligere 'blinde pletter' i vurderingen, herunder hvor meget indlejret energi der er blevet brugt til at producere byggematerialer. Derudover reducerer en helhedsbetragtning risikoen for at give incitament til at forskubbe en miljøpåvirkning fra en synlig del til en del, som ikke medregnes.

På sigt forventes det at den høje standard, som er opnået med henblik på udviklingen af lavenergibyggeri, udvides til en mere helhedsorienteret vurdering af bygningens livscyklus.

Bygningens livscyklus i et okkupert postpav

12

### YDERVÆGGE

Måleretninger

- Træ
- Mets
- Mineralsk
- Ekstrapolystyren
- Isolerings
- Alucobond

Facade betædning

11 derved oplys

**Gulv**  
indeholder hele opbygningen over den bærende dækkonstruktion, herunder opbyggede og svømmende gulve. Gulv indeholder fx også afretningslaget.

**Dæk**  
indeholder den bærende dækkonstruktion.

**Loft**  
indeholder hele opbygningen under den bærende dækkonstruktion, herunder nedhængte og påbyggede lofter. I nogle tilfælde har lofterne særlige funktioner i form af brandskrink, fx mellem lejligheder, eller ekstra isolering mod uopvarmet rum.

12

INDERSIDE		MIDT	
0	100	0	100
1	100	100	100
2	100	100	100
3	100	100	100
4	100	100	100
5	100	100	100
6	100	100	100
7	100	100	100
8	100	100	100
9	100	100	100
10	100	100	100
11	100	100	100
12	100	100	100
13	100	100	100
14	100	100	100
15	100	100	100
16	100	100	100
17	100	100	100
18	100	100	100
19	100	100	100
20	100	100	100
21	100	100	100
22	100	100	100
23	100	100	100
24	100	100	100
25	100	100	100
26	100	100	100
27	100	100	100
28	100	100	100
29	100	100	100
30	100	100	100
31	100	100	100
32	100	100	100
33	100	100	100
34	100	100	100
35	100	100	100
36	100	100	100
37	100	100	100
38	100	100	100
39	100	100	100
40	100	100	100
41	100	100	100
42	100	100	100
43	100	100	100
44	100	100	100
45	100	100	100
46	100	100	100
47	100	100	100
48	100	100	100
49	100	100	100
50	100	100	100





**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT**  
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Dato:

Navn: