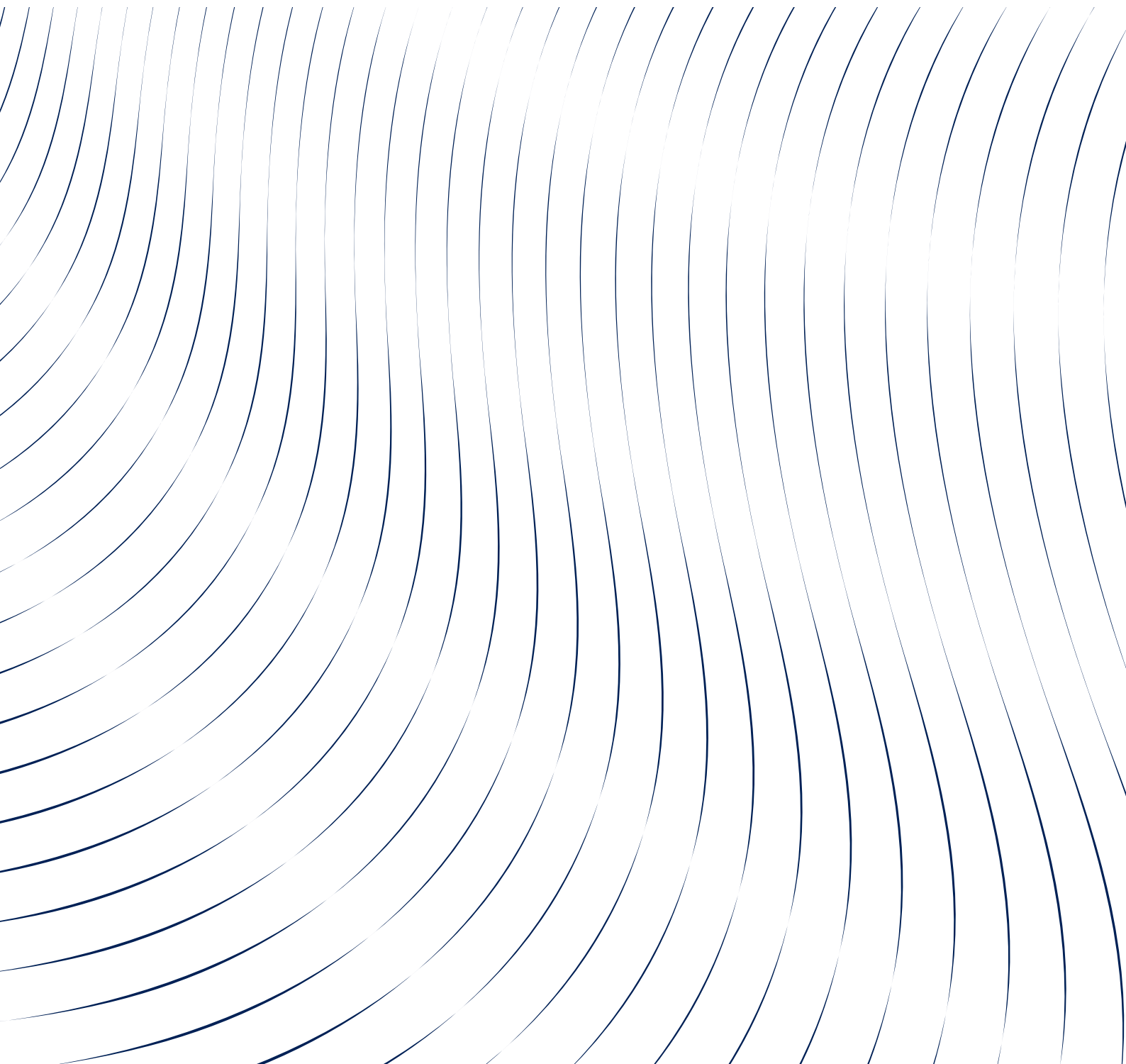


# **SBI 2017:08**

## Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger

Vurderet for hele bygningens livscyklus





# Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger

Vurderet for hele bygningens livscyklus

Harpa Birgisdóttir  
Sussie Stenholt Madsen

Titel Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger  
Undertitel Vurderet for hele bygningens livscyklus  
Serietitel Forskning i det byggede miljø, SBI 2017:08  
Udgave 1. udgave  
Udgivelsesår 2017  
Forfattere Harpa Birgisdóttir og Sussie Stenholt Madsen  
Fagfælle-  
bedømmelse Kasper Lyng Jensen  
Redigering Jesper Kirkeskov  
Sprog Dansk  
Sidetal 65  
Litteratur-  
henvisninger Side 45-46  
Emneord Bæredygtighed, energiforbrug, livscyklusvurdering, LCA

ISBN 978-87-93585-01-0

Udgiver Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS  
Anker Engelunds Vej 1  
2800 Kongens Lyngby

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



**PEER  
REVIEWED**

# Forord

Bæredygtighed er gradvist blevet et stadig mere centralt begreb i diskussionen om kvalitetssikring af byggeriet. Formålet med dette projekt er at vurdere, om det på nuværende tidspunkt giver mening, at bygningers samlede ressource- og miljøbelastning løftes ind i bygningsreglementet, samt at komme med bud på, hvordan (evt. frivillige) bestemmelser om bygningers bæredygtighed kan udformes. Denne rapport belyser derfor byggematerialernes bidrag til energiforbrug, udledning af drivhusgasser og eventuelt andre miljøpåvirkninger i sammenligning med ressourceforbrug og miljøpåvirkninger relateret til bygningers driftsenergi.

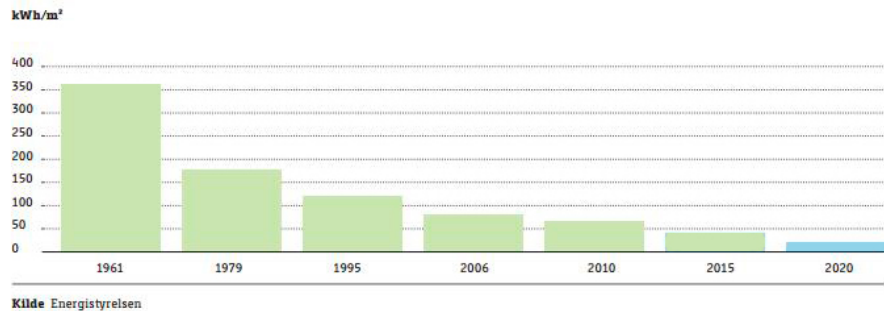
Rapporten er udarbejdet i efteråret 2016 som led i SBI's myndighedsbetjening af Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. Rapporten er udarbejdet af seniorforsker Harpa Birgisdóttir og forskningsassistent Sussie Stenholt Madsen. Manuskriptet er inden publiceringen blevet fagfællebedømt af ph.d. Kasper Lyng Jensen, hvem SBI takker for konstruktivt samarbejde.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København  
Afdelingen for Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed  
Juni 2017

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Sammenfatning

Gennem de seneste 50 år er nyopførte bygningers behov for driftsenergi til opvarmning, ventilation og køling blevet kraftigt reduceret, fra ca. 350 kWh/m<sup>2</sup> pr. år til ca. 40 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Dermed er det efterhånden blevet uforholdsmæssigt dyrt at realisere yderligere energibesparelser i nybyggeriet. Med de aktuelle energipriser er det fx ikke rentabelt at stille offentlige krav om højere energieffektivitet i nye bygninger.

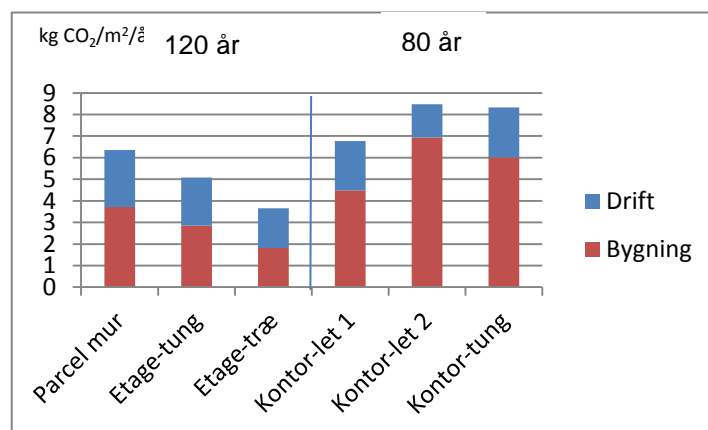


Udviklingen i energiforbrug til bygningsdrift siden det første bygningsreglement med energikrav i 1961 (Energistyrelsen, 2014).

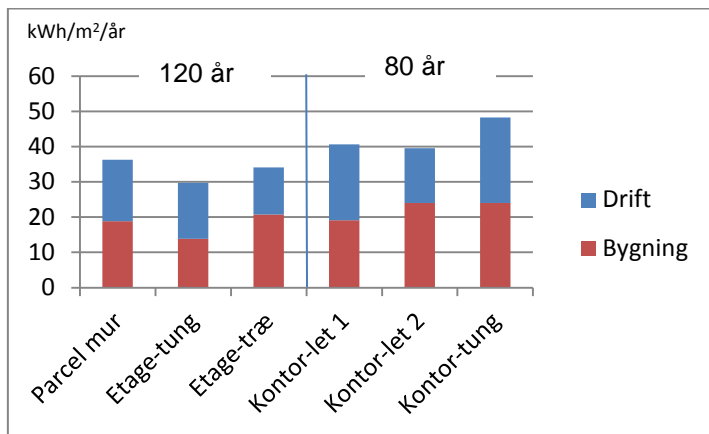
I takt med denne udvikling tegner fremstilling, transport, bortskaffelse og genanvendelse af byggematerialer sig for en stigende andel af byggeriets samlede ressource- og miljømæssige effekter. Derfor retter opmærksomheden sig nu mod byggematerialernes indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger som en mulighed for i de kommende år fortsat at øge byggesektorens bæredygtighed.

Nærværende undersøgelse belyser forholdet mellem driftsenergiforbruget og de indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger. Dette sker vha. beregninger på seks forskellige eksempelbygninger, som overholder det gældende bygningsreglements energiramme.

Alle seks beregningseksempler viser, at set over bygningens samlede levetid er de indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger større end bidragene fra driftsenergiforbruget.



Global opvarmning (kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/m<sup>2</sup>/år) for drift vs. materialer.



Total Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>/år) for drift vs. materialer.

Undersøgelsen estimerer, at hvis man kan nedbringe de indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger fra nyopførte boliger, kontorbygninger og kulturbygninger med 20 %, vil det give en reduktion på mellem 1,6 og 1,9 TWh og 0,3-0,4 mio. tons CO<sub>2</sub>-ækvivalenter om året. Dette tal kan sammenholdes med den eksisterende bygningsmasses samlede driftsenergiforbrug på 75 TWh og den tilhørende udledning af 14,6 mio. tons CO<sub>2</sub>-ækvivalenter om året.

På den baggrund konkluderer undersøgelsen, at der kan være et betydeligt potentiale i at indføre en offentlig regulering af nye bygningers bæredygtighed i et livscyklusperspektiv.

Undersøgelsen peger i den sammenhæng på forudsætningen om en konsistent metode til opgørelse af bygningers bæredygtighedsprofiler, og anfører, at den danske byggesektor gennem de seneste år er kommet tæt på at have etableret en sådan metode i form af DGNB-certificeringer samt beregningsværktøjer, der understøtter disse. En række forsknings og udviklingsprojekter har således frembragt og konsolideret Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens beregningsværktøj LCAByg, som i dag repræsenterer en praktisk anvendelig, konsistent metode til opgørelse af bæredygtighedsprofiler.

Endelig rummer undersøgelsen en diskussion af de tekniske muligheder for at indføre en offentlig regulering, herunder fordele og ulemper ved eventuelt at operere med en samlet ramme, der både omfatter driftsenergiforbruget og de indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger. Blandt fordelene kan være, at der dermed kommer fokus på den enkelte bygningss samlede bæredygtighed. Blandt ulemperne kan være, at det bliver vanskeligere at regulere nye bygningers bidrag til det primære energiforbrug.

# Indhold

Forord .....	3
Sammenfatning .....	4
Indhold .....	6
Indledning .....	7
Baggrund.....	7
Formål .....	8
Bygningens livscyklus og indlejrede energi og miljøpåvirkninger .....	10
Definition af bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger .....	10
Beregningernes omfang.....	12
Tidligere erfaringer .....	15
Erfaringer fra IEA EBC Annex 57 projektet.....	15
Erfaringer fra DGNB-certificering i Danmark .....	20
Konsekvensberegninger .....	23
Beregningseksempler .....	23
Forskellige bygningstypers potentiale.....	23
Driftsenergiscenariernes betydning for resultaterne .....	26
Hvor detaljerede behøver beregningerne at være?.....	28
Opsummering.....	31
Betydende forhold for den indlejrede energi og miljøpåvirkninger .....	32
Tunge versus lette bygninger.....	32
Levetider for bygninger og byggevarer .....	32
Materialer .....	35
Opsummering.....	37
Indlejret energi og miljøpåvirkninger i forhold til lovgivningen .....	38
CEN TC 350 standarder for LCA .....	38
Byggevevforordningen.....	39
Bygningsdirektivet.....	40
Energikrav til bygninger i Danmark .....	40
CO <sub>2</sub> -kvoteordningen.....	41
Muligheder for udformning af krav .....	42
Ensartet metode.....	42
Udformning af krav på sigt .....	43
Referencer .....	45
Bilag 1 Beregningseksempler .....	47
Parcel mur.....	47
Etage-tung.....	49
Etage-træ .....	51
Kontor-let 1.....	54
Kontor-let 2.....	57
Kontor-tung .....	62

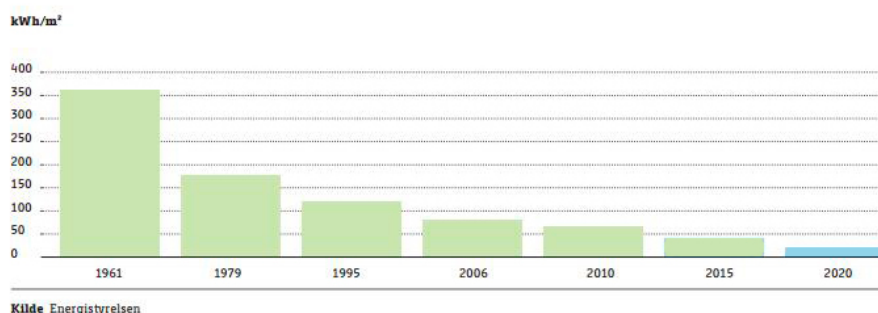


# Indledning

## Baggrund

Udledning af drivhusgasser og den medførte globale opvarmning er et emne, som optager mange personer og virksomheder i Danmark. Det har resulteret i ambitiøse klimamål, som bl.a. sigter mod at omstille til et energi- og transportsystem baseret på 100 pct. vedvarende energi i 2050.

Byggesektoren spiller en væsentlig rolle i denne sammenhæng, hvor fokus på energiforbrug i bygninger har været den vigtigste faktor i de seneste årtier. Som figur 1 viser, har dette medført løbende stramminger i kravene til energiforbruget i nye bygninger. Disse stramminger er et væsentligt led i Danmarks energipolitik og opfyldelsen af de internationale aftaler om reduktion af drivhusgasser.

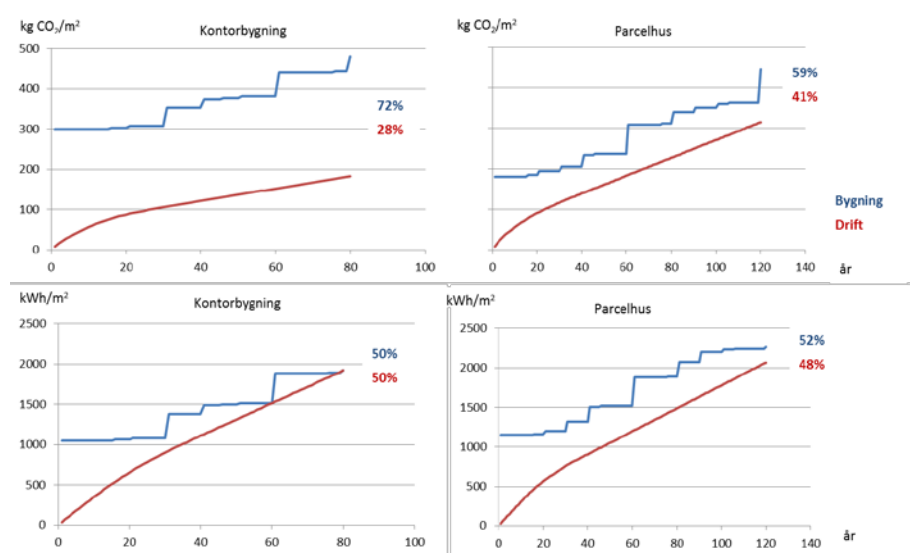


Figur 1. Udviklingen i energiforbrug til bygningsdrift siden det første bygningsreglement med energikrav i 1961 (Energistyrelsen, 2014).

I takt med strammere energibestemmelser bliver det vigtigere også at fokusere på byggematerialernes betydning for byggeriets samlede energiforbrug og udledning af drivhusgasser, herunder den indlejrede energi og drivhusgasser ved fremstilling af materialerne. Figur 2 viser nye danske eksempelberegninger for både en kontorbygning (til venstre) og et parcelhus (til højre), som begge opfylder 2015-energikravene baseret på standardberegninger. Figuren viser de akkumulerede indlejrede påvirkninger (rød graf) i forhold til driften (blå graf), hvor driftens miljøpåvirkninger beregnes ud fra de politiske målsætninger for større andel vedvarende energi. Disse er blandt flere eksempler, som analyseres nærmere i nærværende rapport.

Beregningerne for kontorbygningen viser, at byggematerialer og udskiftning af dem udgør 72 % af bygningens bidrag til den globale opvarmning og 50 % af det samlede primærenergiforbrug for en betragtningsperiode på 80 år. Som det kan aflæses af figuren, kommer udledningen af drivhusgasser fra driftsenergiforbruget aldrig i bygningens livscyklus i nærheden af udledningen af drivhusgasser i forbindelse med fremstillingen af byggematerialerne. For primærenergiforbruget gælder det, at forbruget til driftsenergien først kommer i nærheden af det indlejrede energiforbrug efter omkring 40 års brugsfase. Driftsenergiforbruget bliver lig med det indlejrede energiforbrug på to tidspunkter, nemlig efter omkring 60 og 80 år.

Beregningerne for parcelhuset viser, at byggematerialerne udgør 59 % af bygningens bidrag til den globale opvarmning og 52 % af primærenergien for en betragtningsperiode på 120 år.



Figur 2. Akkumuleret global opvarmning (CO<sub>2</sub>-ækvivalenter) og primærenergiforbrug (kWh) beregnet for en kontorbygning (over 80 års betragtningsperiode) og parcelhus (over 120 års betragtningsperiode). Begge bygninger opfylder BR 2015.

På europæisk plan ses også øget fokus på byggematerialernes miljøpåvirkning, både gennem byggeveireforordningen (CPR), de europæiske frivillige standarder under CEN TC 350 samt EU's vækststrategi, der bl.a. omfatter en køreplan for et ressourceeffektivt Europa. I CPR er det tilføjet som krav, at miljøvaredeklaration af byggematerialer skal indeholdes som en del af CE-mærkningen (Europa-Parlamentet, 2011). Standarderne inden for CEN TC 350 fortæller bl.a., hvorledes miljøvurdering af bygninger (LCA) bør udføres (EN 15978:2011, EN 15804:2012). I køreplanen for et ressourceeffektivt Europa er fremsat milepæle for forbedring af ressourceudnyttelsen i bygninger, hvor livscyklusperspektivet spiller en væsentlig rolle. Det fremgår bl.a., at i 2020 skal livscyklustankegangen anvendes bredt i byggesektoren, og at alle nye bygninger skal være næsten energineutrale (Europa-Kommissionen, 2011).

I udviklingen mod et mere bæredygtigt byggeri indgår således overvejelser om byggematerialernes indlejrede energi, bidrag til global opvarmning (CO<sub>2</sub>-aftryk) eller et mere samlet miljøaftryk baseret på LCA-beregninger. Dette gøres allerede i Danmark ved frivillig certificering af bæredygtigt byggeri, hvor certificeringssystemet DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) har været anvendt siden 2012. Nogle få lande stiller allerede krav til udførelse af LCA ved bygninger (fx Holland) og kravværdier til indlejrede påvirkninger (fx Schweiz). Det internationale energiagentur (IEA) har netop afsluttet et femårigt internationalt projekt om emnet, hvor formålet bl.a. har været at udvikle en solid viden om indlejret energi og drivhusgasser i bygninger, udvikle vejledninger over metoder for hvorledes indlejret energi i bygninger og udledning af drivhusgasser evalueres samt identificere fremgangsmåder for bygningsdesign med lavere indlejret energi og lavere udledning af drivhusgasser ved produktion af byggematerialer.

## Formål

Formålet med nærværende projekt er at vurdere, om det på nuværende tidspunkt giver mening, at hensynet til byggematerialernes ressource- og miljøbelastning løftes ind i bygningsreglementet, samt at komme med bud på, hvordan sådanne (evt. frivillig) bestemmelser kan udformes. Dette belyses ved at undersøge, hvor meget byggematerialernes bidrag til energiforbrug, udledning af drivhusgasser og eventuelt andre miljøpåvirkninger bety-

der i forhold til ressourceforbrug og miljøpåvirkninger relateret til bygningers driftsenergi.

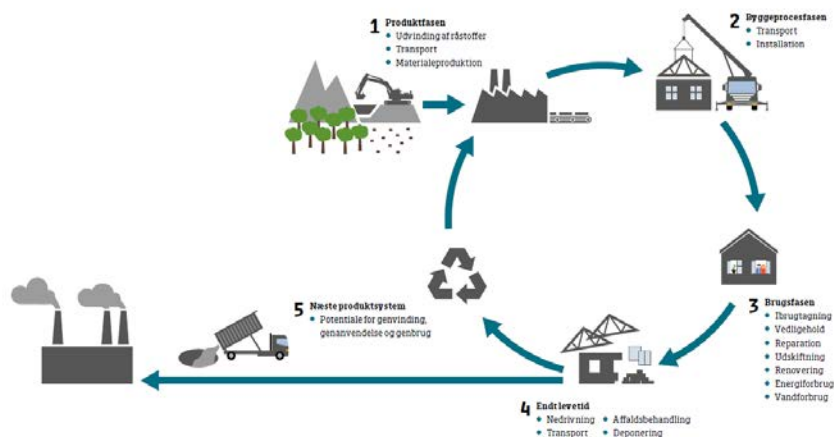
Som led i dette opstilles repræsentative bygningscases, hvor det søges belyst, hvorledes forskellige parametre har indflydelse på de beregnede resultater. Endvidere inddrager projektet erfaringer fra analyser af indlejrede energi- og miljøpåvirkninger foretaget i det netop afsluttede IEA Annex 57 projekt, samt analyser af DGNB-certificerede bygninger i Danmark.

# Bygningens livscyklus og indlejrede energi og miljøpåvirkninger

Formålet med dette afsnit er at give et overblik over, hvorledes indlejret energi og miljøpåvirkninger defineres og beregnes.

## Definition af bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger

Med bygningens indlejrede energi og miljøpåvirkninger forstås virkninger relateret til alt, der vedrører byggematerialerne i hele bygningens livscyklus, som illustreret i figur 3. Det betyder, at indlejrede påvirkninger teoretisk set vedrører produktion af byggematerialerne, transport, installation, vedligeholdelse, udskiftninger og behandling af materialerne efter endt levetid. I virkeligheden omfatter det alle de processer, som indgår i tabel 1, bortset fra B6 og B7 som vedrører hhv. driftsenergi og vandforbrug. Dette betyder, at når ressourceforbrug eller miljøpåvirkning af et produkt karakteriseres som indlejret, betyder det ikke nødvendigvis, at det hele faktisk er indeholdt i selve produktet. For en bygning anvendes begrebet indlejrede energi og miljøpåvirkninger derfor i en symbolsk forstand til at beskrive virkninger, der ikke tilskrives driftsenergiforbruget og vandforbruget, men derimod relateres til byggematerialerne gennem hele bygningens livscyklus.



Figur 3. Typiske faser i bygningers livscyklus: Produktfase, byggeprocesfase, brugsfase, endt levetid og næste produktsystem (figur fra Birgisdottir, H. og Rasmussen, F.N., 2015).

### Definition af indlejret energi

Indlejret energi er det samlede primære energibehov for en eller flere processer, som relateres til fremstillingen af byggevarer, deres vedligeholdelse og håndtering ved endt levetid, gennem hele bygningens livscyklus. Indlejret energi opgøres i MJ eller kWh. Det samlede primære energibehov kan opgøres på forskellig vis, afhængigt af de energikilder som indgår i opgørelsen. Det internationale forskningsprojekt om indlejret energi og drivhusgasser, IEA EBC Annex 57, har lavet følgende tre definitioner (Lützkendorf, T. og Balouktsi, M., 2016):

- Indlejret energi 1: Det samlede fossile primære energibehov (engelsk forkortelse CEDf eller PEF)

- Indlejret energi 2: Det samlede ikke-vedvarende primære energibehov (engelsk forkortelse CEDnr eller PEnr)
- Indlejret energi 3: Det samlede vedvarende og ikke vedvarende primære energibehov (engelsk forkortelse CEDnr+r eller PETot).

#### *Definition af indlejrede drivhusgasser*

Indlejrede drivhusgasemissioner betegner mængden af drivhusgasser (uanset deres type) i forbindelse med en eller flere processer, som relateres til fremstillingen af byggevarer, deres vedligeholdelse og håndtering ved endt levetid, gennem hele bygningens livscyklus. Der findes forskellige måder at opgøre dette på, afhængigt af hvilke drivhusgasser der er inkluderet i den samlede CO<sub>2</sub>-ækvivalent. Det internationale forskningsprojekt om indlejret energi og drivhusgasser, IEA EBC Annex 57, har lavet følgende definition, som passer godt til, hvorledes drivhusgasser opgøres i Danmark:

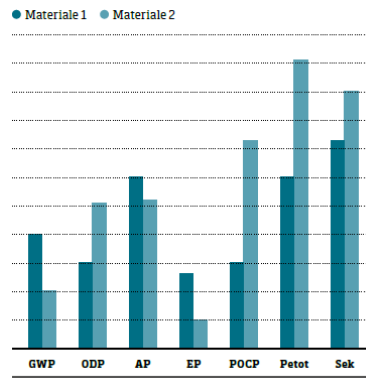
- Indlejrede drivhusgasemissioner 1: Den samlede mængde drivhusgasser (kuldioxid, metan, nitrogenoxid og andre drivhusgasser der indgår i den 5. IPCC-rapport).

#### *Andre indlejrede miljøpåvirkninger*

Når livscyklusvurdering udføres, beregnes normalt flere miljøpåvirkninger end blot primærenergiforbruget og udledningen af drivhusgasser, som bidrager til den globale opvarmning. Beregningsværktøjet LCAByg opererer med følgende miljøpåvirkningskategorier (forkortelse og enhed angives i parentes):

- Global opvarmning (GWP, i kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter)
- Ozonlagsnedbrydning (ODP, i kg R11 ækvivalenter)
- Forsuring (AP, i kg SO<sub>2</sub>-ækvivalenter)
- Næringssaltbelastning (EP, i kg PO<sub>4</sub>-ækvivalenter)
- Fotokemisk ozondannelse (POCP, i kg etnen-ækvivalenter)
- Udtømning af abiotiske ressourcer – grundstoffer (ADPe, i Sb-ækvivalenter)
- Udtømning af abiotiske ressourcer – fossile brændsler (ADPf, i MJ)
- Primærenergiforbruget (PETot, i MJ eller kWh)
- Forbrug af sekundære brændsler (SEK, i MJ eller kWh)

Alle disse miljøpåvirkningskategorier kan i princippet inddrages i beregningen af indlejrede miljøpåvirkninger. Når der sammenlignes to eller flere byggevarer, konstruktioner eller hele bygninger, er der normalt ikke sammenhæng mellem rangordenen i resultaterne for de ni forskellige miljøpåvirkningskategorier. Et tænkt eksempel på dette vises i figur 4, hvor miljøpåvirkninger for to forskellige byggematerialer sammenlignes i et diagram, men hvor det er svært at vurdere, hvilket byggemateriale der har den bedste miljøprofil.



Figur 4. Miljøprofil for to forskellige byggematerialer (figur fra Birgisdottir, H. og Rasmussen, F.N., 2015).

Kompleksiteten af LCA'ens resultater skaber ofte stor forvirring for relevante brugere af værktøjet, både for dem der udfører beregningerne (arkitekter, rådgivere) og dem, de skal kommunikere resultaterne til (fx bygherrer). Derfor har brugerne haft et stort ønske om, at der kan inkluderes en vægtningsmetode, så der kan beregnes en samlet værdi for livscyklusvurderingens resultater. Dette ville smidiggøre kommunikationen betydeligt. Ulemper er, at der ikke er konsensus om brug af én vægtningsmetode, så den valgte vægtningsmetode ville nok ofte skabe stor diskussion. Det internationale forskningsprojekt, IEA EBC Annex 57, blev afgrænset til beregning af indlejret energi og drivhusgasemissioner (dvs. global opvarmning). De projektspecifikke beregningseksempler er beregnet for samtlige af de ni miljøpåvirkningskategorier. For simplificerings skyld er der i præsentationen af resultaterne i nærværende rapport valgt at fokusere mest på de to miljøpåvirkningskategorier primærenergi og global opvarmning (drivhusgasemissioner).

## Beregningernes omfang

Tabel 1 viser de processer, som indgår i de fem faser i bygningens livscyklus, som den er defineret i den europæiske standard EN 15978:2011. I alt er det 15 processer, der vedrører byggematerialernes livscyklus og 2 processer der vedrører driften (hhv. driftsenergiforbrug og vandforbrug). Det er meget omfattende at indhente oplysninger om alle de 15 processer, der vedrører brug af materialer i bygninger og inkludere dem i livscyklusvurderinger. I praksis laves der derfor som regel forsimplinger i de udførte beregninger.

Tabel 1. Livscyklusfaser som defineret i den europæiske standard EN 15978:2011.

Modul	A1-A3			A4-A5		B1-B7							C1-C4			D	
Livscyklus-faser	Produkt			Bygge-proces		Brug							Endt levetid			Uden for system-grænse	
Processer	Råmaterialer	Transport	Produktion	Transport	Overførelse/montering	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til drift	Vandforbrug til drift	Nedtagning/nedrivning	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Potentiale for genanvendelse, genvinding og genbrug
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

### Europæiske standarder

Den europæiske CEN-standard EN15978 anbefaler, at alle livscyklusfaser og moduler bør medtages i beregningerne, hvis muligt, bortset fra modul D, da bidrag fra denne fase ifølge standarden skal betragtes som værende udenfor systemgrænsen og derfor rapporteres separat. I praksis inddrages

normalt ikke alle de 15 processer. Tabel 2 viser i procenter, hvilke processer der var medtaget i de 80 casestudier fra det internationale forskningsprojekt IEA Annex 57. Tabellen viser, at produktion af materialer (A1-A3) blev medtaget i 98 % af casene, udskiftninger (B4) i 71 % og endt levetid (C3 og C4) i 55-61 % af casene. Andre processer som ofte blev inkluderet, var fx næste produktsystem (D), som blev inkluderet i 44 % af casene.

Tabel 2. Processer inkluderet i de 80 IEA Annex 57 casestudier, DGNB certificering og i LCAByg.

	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Annex 57 case studier (%)	98	26	23	1	10	8	71	19	19	20	55	61	44
DGNB	x						x				X	x	x
LCAByg	x						x				X	x	

### DGNB

DGNB-certificeringsordningen har nogle simplificeringer i udførelsen af LCA, ved at den kun inkluderer følgende moduler, når det gælder indlejrede påvirkninger:

- Produktion af materialer (A1-A3). Inkluderer data for produktion af materialer (inklusive udvinding af råmaterialer og transport af råmaterialer til fabrik), men ikke efterfølgende transport til byggeplads og selve installationen af byggematerialerne på byggepladsen.
- Udskiftning af materialer (B4). Inkluderer udskiftning af materialer baseret på materialernes forventede levetider, men ikke regelmæssig vedligeholdelse og reparation af materialer.
- Affaldsbehandling (C3 og C4). Inkluderer affaldsbehandling som fx forarbejdning før genanvendelse, forbrænding og deponering af materialer. Disse moduler dækker ikke gevinsterne ved genanvendelsen eller forbrændingen, idet det inkluderes i næste modul.
- Næste produktsystem (D). Inkluderer de beregnede gevinster (og eventuelle ulemper) fra genbrug af materialer og forbrænding af affald. Dette modul dækker dermed fx gevinsten ved genanvendelse af metaller efter endt levetid eller el- og varmeproduktionen ved forbrænding af affald.

### LCAByg

LCAByg (version 1-3) inkluderer de samme forsimplinger som DGNB-metoden, men læner sig også op ad anbefalinger fra EN15978 ved ikke at inkludere beregning af modul D. LCAByg (version 1-3) inkluderer derved modul A1-A3, B4, C3 og C4.

Et andet spørgsmål der vedrører beregningernes omfang, er hvor detaljerede beregningerne bør være, og om der er nogle bygningsdele eller kategorier, som kan udelades i beregningerne. Som udgangspunkt skal hele bygningen vurderes, dog kan der ses bort fra udendørsarealer. I de beregningseksempler, som er udført i LCAByg i forbindelse med dette projekt, er det forsøgt så vidt muligt at inkludere de bygningsdele, der svarer til Sfb-hovedgruppe 1-6 (se tabel 3).

Tabel 3. Hovedgrupper og kategorier som bør inkluderes i LCA på bygninger.

Hovedgrupper	Kategorier
Bygningsbasis	Fundamenter (12) Terrændæk (13)
Primære bygningsdele	Ydervægge (21) Indervægge (22) Dæk (23) Trapper og ramper (24) Bærende bjælker og søjler (25) Altaner (26) Tage (27)
Kompletterende bygningsdele	Ydervægge, komplettering (31) Indervægge, komplettering (32) Dæk, komplettering (33) Trapper og ramper, komplettering (34) Lofter, komplettering (35) Altaner, komplettering (36) Tage, komplettering (37)
Overflader	Udvendige vægoverflader (41) Indvendige vægoverflader (42) Dæk og gulvoverflader (43) Trapper og ramper, overflader (44) Lofter, overflader (45) Altaner, overflader (46) Tage, overflader (47)
VVS- og ventilationsanlæg	Køling (55) Varme (56) Ventilation (57)
El- og mekaniske anlæg	Solcelle anlæg Evt. Solfangere



## Tidligere erfaringer

Dette afsnit giver et overblik over beregninger af indlejret energi og drivhusgasser fra et netop afsluttet internationalt forskningsprojekt samt fra danske DGNB-certificerede bygninger.

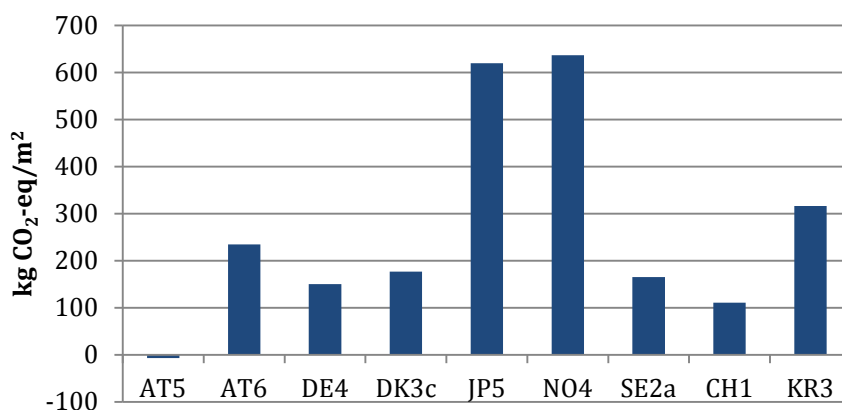
Formålet med gennemgangen af det internationale projekt IEA EBC Annex 57 er hovedsageligt at vise, hvilke parametre der har indflydelse på resultater for indlejret energi og drivhusgasser, dette for at forbedre beslutningsgrundlaget for, hvorledes denne type beregninger bør udføres i Danmark.

Formålet med gennemgangen af resultaterne fra de danske DGNB-certificerede bygninger er at give et overblik over resultaterne fra nylige danske bygningscases.

### Erfaringer fra IEA EBC Annex 57 projektet

IEA EBC Annex 57 er et internationalt forskningsprojekt, som handler om evaluering af indlejret energi og drivhusgasser i bygninger. Projektet løbe over fem år i perioden 2011-2016. Projektet blev afsluttet i slutningen af år 2016 med udgivelse af en række rapporter fra fire forskellige underudvalg (subtasks), samt vejledninger til forskellige målgrupper.

IEA EBC Annex 57 subtask 4 har analyseret indlejret energi og drivhusgasser i omkring 80 casestudier fra 11 lande. Det følgende afsnit er baseret på rapporten *Recommendations for the reduction of embodied greenhouse gasses and embodied energy from buildings*, udarbejdet af subtask 4 (Birgisdóttir m.fl., 2016). Analysen kom frem til, at det var meget svært at sammenligne casestudier, både på tværs af lande og bygninger. Vanskelighederne skyldes dels projektspecifikke løsninger tilpasset det enkelte byggeri i forhold til konstruktioner og materialevalg, dels de meget forskellige metoder, der anvendes for udførelse af beregninger af indlejrede påvirkninger. Figur 5 viser de store forskelle i resultaterne af indlejrede drivhusgasser fra ni udvalgte casestudier fra IEA EBC Annex 57.



Figur 5. Indlejrede drivhusgasemissioner fra vugge til port (A1-A3) fra forskellige Annex 57 casestudier (Birgisdóttir, m.fl., 2016).

Analysen viste, at formål, omfang og den anvendte metode for casestudierne er forskellig, nogle af de analyserede casestudier er en forenklet opgørel-

se for den tidlige designproces (fx **SE2a**), mens nogle er udført på et meget detaljeret niveau, når en bygning er blevet bygget, og alle informationer foreligger (fx **NO4**).

Nogle casestudier inkluderer kulstofoplagring i træ (fx **AT5**) i beregningen, hvilket kan neutralisere drivhusgasemissionerne fra produktion af andre byggekomponenter. Der anvendtes forskellige metoder for håndtering af kulstofoplagring i træ.

Nogle undersøgelser (fx **DE4**) inkluderer alt teknisk udstyr i bygningen og viser relativt store virkninger forbundet med teknisk udstyr, men formår stadig at præsentere de samlede resultater, der er inden for samme størrelsesorden som studier med en begrænset inddragelse af teknisk udstyr (som fx **DK3c**).

Endvidere skal det bemærkes, at enheden i figur 5 er  $\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$ . Her kan der også være forskelle, idet nogle af beregningerne er baseret på bruttoetageareal, mens andre er på nettogulvareal, som kan indebære en forskel på mindst 10 %.

Dette bekræfter, at det er vigtigt at kende betydningen af de forskellige parametre, metoder og antagelser for de opnåede resultater.

I det efterfølgende afsnit gennemgås følgende udvalgte faktorer, som analysen i Annex 57-undersøgelsen viste har betydning for beregning af indlejret energi og drivhusgasser for bygninger:

- Formålet med vurderingen
- Betragtningstidspunkt
- Systemafgrænsning
- Databaser
- Beregningsmetoder for kulstofbinding i træ
- Beregningsmetoder for brug af genbrugte eller genanvendte materialer.

#### *Formålet med livscyklusvurderingen*

Formålet (*goal and scope*) er de første skridt mod en LCA i henhold til den internationale ISO 14040-serie, såvel som de europæiske CEN TC 350 standarder (EN 15978). En række årsager kan drive motivationen for at gennemføre et LCA-studie af en bygning, for eksempel et behov for at sammenligne forskellige byggesystemer og materialer, identifikation af hvor i bygningen de største miljøpåvirkninger ligger, eller blot for at dokumentere de miljømæssige påvirkninger. Det kan også være at lave en hurtig screening tidligt i designfasen eller at lave en detaljeret vurdering af et færdigt projekt.

Formålet kan derfor have en stor betydning for, hvorledes LCA'en bliver udført. Et eksempel fra to norske casestudier fra Annex 57-arbejdet afspejler dette rigtig godt, hvor formålet med det ene casestudie (**NO1**) var at repræsentere LCA-resultater fra den tidlige designfase, mens det andet (**NO4**) beregner en bygningsscene, som den blev bygget, hvor der foreligger en mere detaljeret materialebeskrivelse. Resultaterne viser mere end en fordobling af emissioner, afhængigt af hvor detaljerede data der ligger bag LCA'en. Resultaterne viser, at **NO1** har  $7,2 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2/\text{år}$ , og **NO4** er ansvarlig for  $18 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2/\text{år}$ . Bag disse resultater ligger forskelle i viden om mængder i de forskellige designfaser, men også beslutninger om ændringer i design, som først foretages i senere faser.

### Betragtningsperiode

Længden af betragtningsperioden (dvs. den periode man beregner LCA'en for) er en vigtig faktor for de beregnede resultater.

Som regel har opførelsen af bygningen (hele modul A) den største belastning i bygningens livscyklus. Længden af betragtningsperioden har naturligvis indflydelse på antal udskiftninger og dermed belastningen relateret til udskiftninger (B4). Ofte vises resultaterne som belastning per år eller per kvadratmeter per år. Dermed kan også en længere betragtningsperiode udtynde belastningen fra opførelsen (modul A). På den anden side kan en for kort betragtningsperiode ikke tilgodese eventuel langtidsbesparelse ved valg af langtidsholdbare materialer. Det er derfor et godt spørgsmål, hvor lang betragtningsperioden bør være.

Tabel 4 viser betragtningsperioderne, som blev anvendt i casestudierne fra Annex 57-arbejdet. De varierer fra 20 år til 150 år, med et gennemsnit omkring 60 år.

Tabel 4. Levetider anvendt i Annex 57-casestudierne (og antal casestudier i parentes). Den gennemsnitlige levetid er knap 60 år.

AT Østrig	CH Swiss	CZ Tjekkiet	DE Tyskland	DK Danmark	IT Italien	JP Japan	KR Sydkorea	NO Norge	SE Sverige	UK England
100 (4)				50 (12)		90 (1)				
60 (1)				100 (1)	50 (2)	60 (2)	30 (3)			68 (1)
50 (1)	60 (15)	60 (1)	50 (4)	150 (2)	70 (1)	50 (3)	50 (1)	60 (5)	50 (5)	20 (1)

Idet resultaterne for indlejrede påvirkninger meget ofte præsenteres som belastning per år eller per kvadratmeter per år kan denne vurdering ofte ende i en matematisk øvelse. Et eksempel der belyser dette, er det danske casestudie (**DK1**) hvor resultaterne for bygningens livscyklus beregnes for forskellige betragtningsperioder:

- Resultater beregnet over 50 år: 7,9 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år
- Resultater beregnet over 100 år: 4,8 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år

Resultaterne viser, at en fordobling af betragtningsperioden giver omkring 40 % reduktion af belastningen. Det skyldes, at der er flere år til at fordele de indlejrede miljøpåvirkninger over, og det fører til lavere rapporterede påvirkninger på årsbasis.

### Systemafgrænsning

En vigtig faktor, der påvirker det samlede resultat for en bygning, er udvælgelsen af, hvilke livscyklusfaser og processer der skal medtages i LCA'en. Som nævnt tidligere, anbefaler standarder som fx EN 15978 fuld inddragelse af alle livscyklusfaser og processer, men det er sjældent, om nogensinde, faktisk gennemført.

Nogle gange er de forenklinger der foretages, berettigede i overensstemmelse med formålet med og omfanget af LCA'en. Udføres vurderingen fx i den tidlige designfase kan der også være en god grund til at forenkle vurderingen, fx når der er mange usikkerheder, begrænsede materialeopgørelser og mangel på tilstrækkelige baggrundsdata. Jo flere moduler, der indgår i en bygnings LCA, desto højere detaljeringsgrad og dermed højere beregnede værdier for de resulterende indlejrede påvirkninger. Derfor er det ikke anbefalelsesværdigt med en sammenligning af resultater fra cases med forskellige systemafgrænsninger.

En vigtig faktor for det samlede resultat er, om beregningerne inkluderer modul D eller ej, idet der her kan opnås nogle betydelige potentielle gevinster ved genbrug og genanvendelse af materialerne i fremtiden.

### *Databaser*

En LCA-vurdering påvirkes af hhv. kvaliteten af mængdeopgørelsen og kvaliteten af data, som kobles til mængdeopgørelsen. Data kan være generiske for de anvendte materialer, eller data kan være gennemsnitsdata fra forskellige producenter af samme vare. Endelig kan data være produktspecifikke data (EPD), der repræsenterer den faktiske materialeproducentens oplysninger. Konventionelle LCA-databaser, som fx EcolInvent, og nationale byggemateriale-databaser, såsom den tyske Ökobau, som også anvendes i LCAByg, omfatter betydelige mængder af generiske eller gennemsnitlige data. Der findes brancheorienterede EPD'er skabt til sammenslutninger af materialeproducenter, men de fleste EPD'er er produktspecifikke.

I henhold til EN 15978 afhænger valg af data af omfanget og formålet med LCA-vurderingen, tidspunktet i beslutningsprocessen (fx skitse, endelige design, og opførelse), tilgængeligheden af information og betydningen af data i forhold til den samlede vægt af undersøgelsen.

En undersøgelse foretaget af Lasvaux m.fl. (2015) sammenligner generiske data for byggematerialer i en hyppigt anvendt database (EcolInvent-databasen) med de tilsvarende værdier fra den franske EPD database INIES. For global opvarmning og primær energi blev der fundet afvigelser på cirka 25 %, og afvigelserne for andre påvirkningskategorier kan være meget højere.

### *Beregningsmetoder for kulstofbinding i træ*

Kulstofbinding og -lagring er relevant for anvendelsen af byggematerialer af biologisk oprindelse. Kulstofbinding defineres som kulstof, der tidligere er absorberet fra atmosfæren og nu midlertidig oplagret i materialet. Der er forskellige tilgange til, hvordan der i en LCA kan tages højde for kulstoflagring, og de forskellige tilgange kan føre til store forskelle i resultaterne af indlejrede drivhusgasemissioner. Kort sagt vedrører forskellene, hvorvidt timingen af udledning af emissioner i forhold til optaget er velovervejet. Da lagring af kulstof kun er midlertidig, bør det overvejes, om kulstofbindingsprincipperne i endt levetidsfasen (fx forbrænding af træ) resulterer i en frigivelse af den samme mængde drivhusgasser som oprindeligt oplagret. Men idet systemgrænser i LCA ofte ikke omfatter endt levetid-processer, kan nogle LCA-vurderinger føre til et forvrænget billede af de faktiske virkninger forbundet med brugen af træ.

Der er stadig ikke enighed om den mest hensigtsmæssige metode til behandling og kvantificering af tidsmæssig lagring af kulstof. Standarder som EN15978 og EN15804 har ingen anbefalinger om emnet. Annex 57-arbejdet har identificeret forskellige metodemæssige forskelle i de forskellige case-studier. De østrigske, danske og tyske casestudier inkluderer lignende metoder for kulstofbinding i træ. De danske casestudier anvendt i Annex 57-arbejdet er alle beregnet efter DGNB-retningslinjerne for LCA og inkluderer derfor modul D, hvilket gør, at indlejrede drivhusgasser i forbindelse med brug af træ ender i en netto negativ påvirkning (dvs. negativ udledning af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter). Dette forklares ved, at når alt regnes sammen, dvs. kulstofbindingen der hører til modul A, udledning af emissioner ved forbrænding af træ, der hører til modul C, og så den potentielle el- og varmegevinst, der opnås ved forbrænding, som hører til modul D, så resulterer forbrug af træ i indlejrede drivhusgasser, som er mindre end nul.

### *Beregningsmetoder for brug af genbrugte eller genanvendte materialer*

Genbrugte og genanvendte byggematerialer er materialer, der har undergået oparbejdning eller anden behandling, således at de anvendes i byggeri som erstatning for nye materialer. Anvendelsen af genbrugsmaterialer kan, sammenlignet med nye materialer, reducere bygningers indlejrede påvirk-

ninger. Der er stigende interesse for øget genbrug i byggeriet. Det danske Upcycle House er et eksempel på et projekt, hvor genbrug afprøves i stor skala. Et andet eksempel er genbrug af teglsten.

Desværre er metoder til beregning af miljømæssige fordele ved genbrug ikke uden udfordringer. Konsekvensen er, at der sjældent foreligger data for genbrugte materialer i de alment benyttede LCA-databaser. Dette gælder fx Ökobau-databasen, hvor der ikke indgår data for forskellige genbrugte byggematerialer.

Annex 57 har gennemgået fire casestudier med fokus på genbrug, samt to cases fra litteraturen. De gennemgåede casestudier viser ikke entydig reduktion i indlejret energi og drivhusgasser, bortset fra det danske Upcycle House.

Den reducerede miljøbelastning ved benyttelsen af genbrugsmaterialer i Upcycle House er udregnet på baggrund af en allokeringmetode, hvor den miljømæssige gevinst ved genbrug og genanvendelse følger den økonomiske værdi som materialet repræsenterer som hhv. nyt og genbrugt/genanvendt. Metoden til beregning af CO<sub>2</sub>-udledningen fra upcycledede materialer i Upcycle house er udviklet af Danmarks Tekniske Universitet og følger internationale standarder for allokering i LCA. Men der er mange måder, allokeringen kan udføres på, hvilket kan have indflydelse på resultatet. Levitetiden for de upcycledede materialer antages også at være de samme, som hvis materialerne havde været nye (Rasmussen, F.N. og Birgisdottir, H., 2013).

## Erfaringer fra DGNB-certificering i Danmark

DGNB har været anvendt til frivillig certificering af bæredygtigt byggeri i Danmark siden 2012 for bl.a. kontorbygninger, boliger og institutioner. Nærværende analyse omfatter LCA-resultater fra 24 bygninger, som er certificeret i perioden 2012-2016. Formålet med analysen er at belyse forholdet mellem resultaterne for indlejrede påvirkninger ved produktion af materialerne i forhold til driften af bygningen, og hvorledes de indlejrede påvirkninger fordeles på bygningsdele.

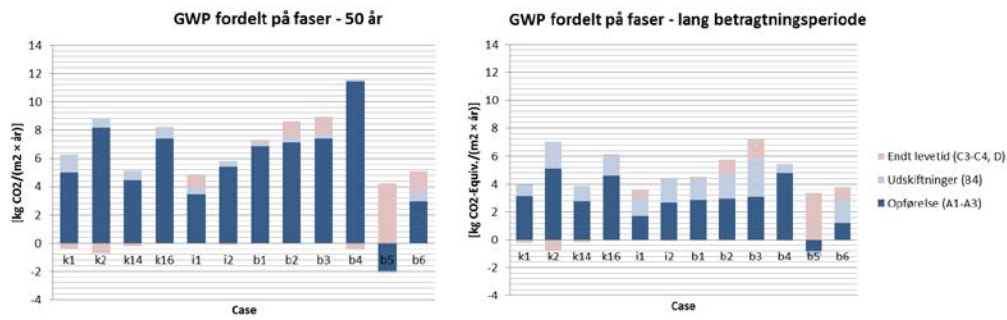
Livscyklusvurderingen i forbindelse med DGNB-certificeringen er udført i et LCA-værktøj udviklet i forbindelse med indføringen af DGNB-certificeringen for det danske Green Building Council (DK-GBC). Værktøjet, DK-GBC LCA, er regnearksbaseret, og blev udviklet i slutningen af 2011. DK-GBC LCA anvender data fra databaserne ESUCO og Ökobau 2011. DK-GBC LCA-regnearket har kun få forskelligheder fra LCAByg-værktøjet. Imidlertid kan resultaterne ikke anvendes direkte til at arbejde henimod eventuelle kravværdier for indlejrede påvirkninger. Systemopsætningen adskiller sig ved, at modul D (se tabel 1) også medregnes i endt levetid i DK-GBC-værktøjet som har indflydelse på resultatet. I de første par år blev der kun anvendt en betragtningsperiode på 50 år for LCA-beregninger ved certificering. Senere blev det indført, at der beregnes to tidshorisonter, en kort på 50 år og en længere på 80 år for kontorbygninger, 100 år for institutioner og 120 år for boliger.

### *Resultater fordelt på livscyklusfaser*

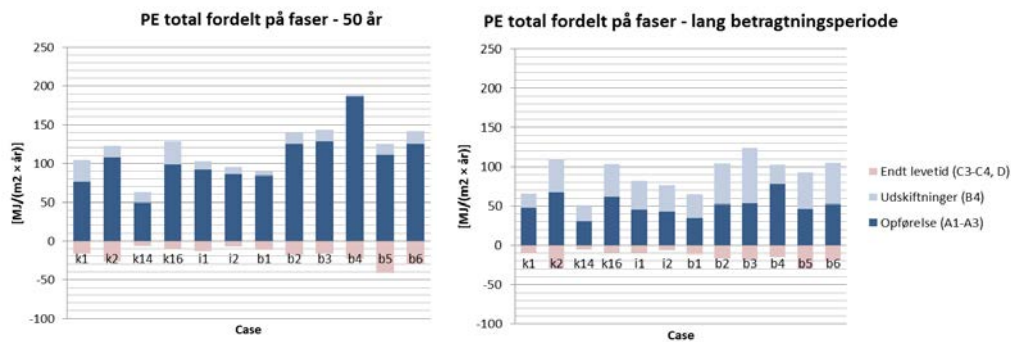
Figur 6 og 7 viser resultaterne for indlejrede drivhusgasser og indlejret energi for hhv. kort betragtningsperiode (50 år) og lang betragtningsperiode (80 år for kontorer, 100 år for institutioner og 120 år for boliger) for 12 udvalgte bygningscases. Tabel 5 opsummerer resultaterne for samtlige 24 certificerede projekter.

Figur 6 (til venstre) viser, at indlejrede drivhusgasser ligger i intervallet 2,2-11,3 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år, når den korte betragtningsperiode anvendes og de positive og negative tal lægges sammen. Det største bidrag stammer fra opførelsen af bygningen (medmindre der er betydelig kulstofbinding pga. meget træ i bygningen, som fx b5). Ved en betragtningsperiode på 50 år kommer der ikke meget bidrag fra brugsfasens udskiftninger, idet en stor del af materialerne har levetider, som er omkring eller over 50 år. Figur 6 (til højre) viser, at de indlejrede drivhusgasser ligger i intervallet 2,1-7,2 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år, når længere betragtningsperioder anvendes. Ved lange betragtningsperioder begynder brugsfasen at have større betydning, hvilket forventes at give et mere retvisende billede for bygningens livscyklus. Udlædningsbidraget fra produktion af materialerne til opførelsesfasen har dog normalt størst betydning, så den indlejrede værdi bliver lavere ved lange levetider, når resultaterne præsenteres pr. m<sup>2</sup> pr. år.

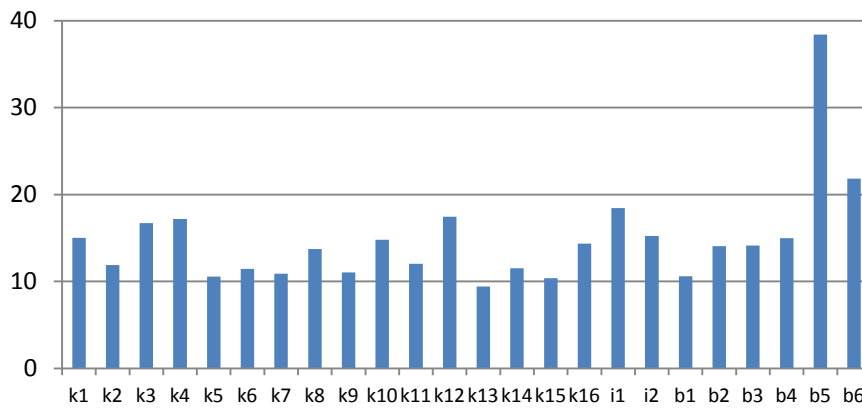
Figur 7 viser resultaterne for indlejret primærenergi total for hhv. kort betragtningsperiode på 50 år (til venstre) og lang betragtningsperiode på 80 år for kontorer, 100 år for institutioner og 120 år for boliger (til højre). Tendenserne for indlejret energi kan også observeres for indlejrede drivhusgasser. En længere betragtningsperiode har stor indflydelse på betydningen af de forskellige livscyklusfaser, og bruger vi den korte betragtningsperiode, har opførelsesfasen langt den største betydning, mens det ser anderledes ud, når de længere perioder anvendes.



Figur 6. Indlejrede drivhusgasser fordelt på faser beregnet for den korte levetid på 50 år (til venstre) og lange betragtningsperiode på hhv. 80 år for kontorer, 100 år for institutioner og 120 år for boliger (til højre).



Figur 7. Primær energi total fordelt på faser beregnet for den korte betragtningsperiode på 50 år (til venstre) og den lange betragtningsperiode på hhv. 80 år for kontorer, 100 år for institutioner og 120 år for boliger (til højre).



Figur 8. Forholdet mellem indlejret energi (EE) og indlejrede drivhusgasser (EG) beregnet som EE divideret med EG.

Tabel 5. Opsummering af resultater fordelt på faser (fra i alt 24 bygningscases). Tabellen viser de laveste og de højeste værdier for hhv. drift, bygning og total i de 24 bygningscases, samt gennemsnitsværdi og middelværdi. Desuden viser tabellen forholdene mellem drift og bygning.

	Kort betragtningsperiode (50 år)				Lang betragtningsperiode (80-120 år)				
	Gennemsnit	Middelværdi	Minimum	Maximum	Gennemsnit	Middelværdi	Minimum	Maximum	
<b>GWP</b>									
Drift	10	10	0	18	8,4	8,8	0	13	kg CO2/m2/år
Bygning	7,4	7,7	2,2	11	4,7	4,4	2,1	7	kg CO2/m2/år
Total	18	18	5,1	26	13	13	4	19	kg CO2/m2/år
Drift	55	60	0	80	60	64	0	79	%
Bygning	45	40	21	100	40	36	21	100	%
<b>PEtot</b>									
Drift	160	150	0	330	120	130	0	200	kWh/m2/år
Bygning	100	90	57	170	75	77	46	110	kWh/m2/år
Total	260	260	110	400	200	190	85	300	kWh/m2/år
Drift	57	62	0	84	59	64	0	73	%
Bygning	43	38	16	100	41	36	27	100	%
<b>PEnr</b>									
Drift	120	110	0	250	88	83	0	150	kWh/m2/år
Bygning	87	80	53	190	59	60	16	90	kWh/m2/år
Total	200	210	130	310	150	150	56	220	kWh/m2/år
Drift	54	59	0	82	57	59	0	84	%
Bygning	46	41	18	100	43	41	16	100	%
<b>PEr</b>									
Drift	43	44	0	81	36	38	0	56	kWh/m2/år
Bygning	16	11	3,1	63	16	14	3,4	46	kWh/m2/år
Total	59	56	22	100	52	51	29	83	kWh/m2/år
Drift	71	80	0	95	68	75	0	89	%
Bygning	29	20	5	100	32	25	11	100	%



# Konsekvensberegninger

Formålet med dette afsnit er at belyse muligheder for varierende krav til indlejret energi og miljøpåvirkninger, og hvilke effekter kravene kan have på bygningsmassen. Muligheder og konsekvenser vil blive belyst via beregningseksempler. Beregningseksemplerne er udarbejdet for en række bygningstyper. Beregningsforudsætninger og nærmere forklaring af resultater er beskrevet i bilag 1.

## Beregningseksempler

Gennemgangen af IEA Annex 57-casestudierne viser, at en ensrettet beregningsmetode er essentiel for at kunne sammenligne indlejrede påvirkninger mellem forskellige bygningscases og belyse muligheder og konsekvenser ved forskelligt bygningsdesign, byggesystemer og materialevalg. Gennemgangen af erfaringer fra både IEA Annex 57-projektet og oversigten over de danske DGNB-certificerede projekter giver et godt overblik over forskellige konsekvenser, fx bygningsdesign, materialevalg, samt lang og kort betragtningsperiode. De nævnte danske beregningseksempler er imidlertid baseret på en anden fremgangsmåde, end vi anbefaler ved brug af LCAByg (fx inkluderer vi ikke modul D), hvorfor der i stedet anvendes specifikke beregningseksempler for dette projekt.

Der er opstillet følgende seks beregningseksempler:

Parcelhus med betragtningsperiode på 120 år

- **Parcel mur:** Parcelhus med facade af teglsten, beregningseksempel fra LCAByg (forsimplet beregning)

Etageejendomme med betragtningsperiode på 120 år

- **Etage-tung:** Tung etageejendom (forsimplet beregning)
- **Etage-træ:** Træ-etageejendom (mellem detaljeringsgrad)

Kontor med betragtningsperiode på 80 år

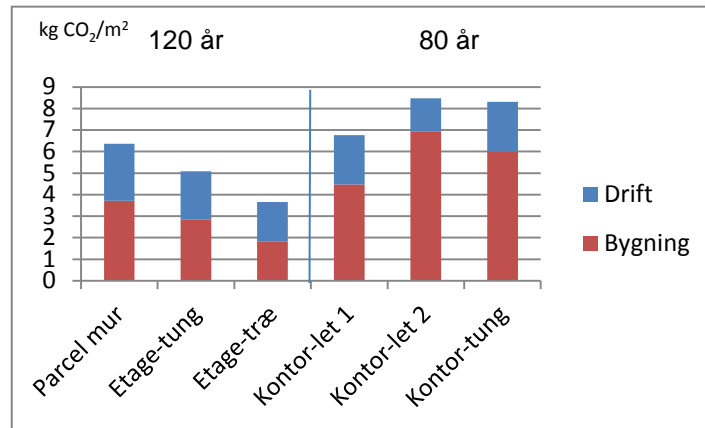
- **Kontor-let 1:** Kontorhus i let konstruktion, beregningseksempel fra LCAByg (forsimplet beregning)
- **Kontor-let 2:** Kontorhus i let konstruktion (stor detaljeringsgrad)
- **Kontor-tung:** Kontorhus i tung konstruktion (stor detaljeringsgrad)

Beskrivelse af beregningseksemplerne og resultater fra beregninger fremgår af bilag 1. Beregningseksemplerne vil i det følgende blive anvendt til at belyse muligheder og konsekvenser ved at sætte krav til indlejrede miljøpåvirkninger.

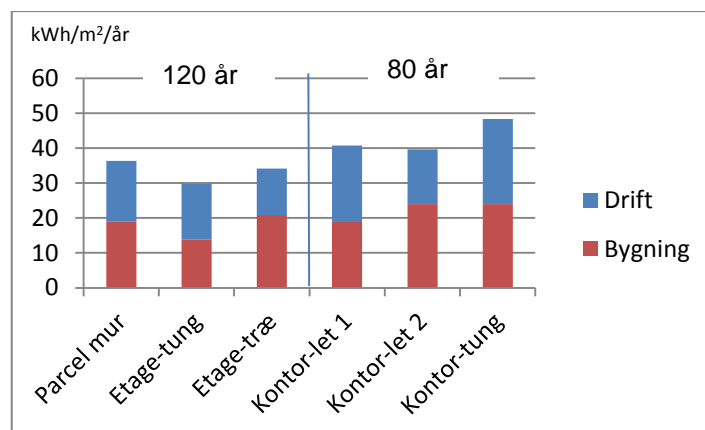
## Forskellige bygningstypers potentiale

Resultaterne for de totale udledninger, fordelt på drift og materialer for de forskellige bygningstyper, er illustreret i figur 9 og 10, beregnet for de seks eksempler. Resultaterne er fordelt på to beregnede indikatorer, global opvarmning og total primærenergiforbrug.

Resultaterne er præsenteret som påvirkning per kvadratmeter per år for betragtningsperioden, som er 120 år for boliger og 80 år for kontorbygninger. Resultater for kontor og boliger kan derfor ikke direkte sammenlignes. Driftsenergiforbruget beregnes på basis af datasæt for fremskrivning af energifremstillingen for perioden 2015-2050, dvs. det energiscenario som forudsætter forøget andel af vedvarende energi for Danmarks energifremstilling frem til år 2050 (COWI, 2016). Der er for bygningernes driftsenergi taget udgangspunkt i standardiserede energirammeberegninger.



Figur 9. Global opvarmning (kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/m<sup>2</sup>/år) for drift vs. materialer.



Figur 10. Total Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>/år) for drift vs. materialer.

Betydningen af resultaterne kan vurderes ved at sammenligne med hvor mange bygninger af de forskellige typer, der bygges, og deraf kan potentialet for indlejret energi og miljøpåvirkninger udledes.

#### Statistik og potentiale

Tabel 6 viser statistik for fuldført byggeri ekskl. landbrugsbygninger, garager, carporte og udhuse i Danmark i perioden 2006-2015. I denne periode blev der i gennemsnit bygget 5,5 mio. m<sup>2</sup>, hvor 49 % var boliger (34 % parcel- og rækkehusene) og 23 % var kontorbygninger. Disse tal viser, at det er vigtigt at kunne stille krav til indlejret energi og miljøpåvirkninger til parcel- og rækkehusene for at opnå den fulde effekt. Kontorbygningerne, som udgør 23 % af de byggede kvadratmetre (30 % hvis kulturbygninger regnes med), er den bygningstype, hvor det vil være mest oplagt at stille krav om udførelse af LCA med henblik på at reducere de indlejrede energi- og miljøpåvirkninger.

Tabel 6. Fuldført byggeri i m<sup>2</sup> efter byggesagstype i Danmark i perioden 2006-2015 (Danmarks Statistik, 2016).

	Gennemsnit 2006-2015	
Stuehuse til landbrugsejendomme	150.540	
Parcelhuse	1.447.736	
Række-, kæde- og dobbelthuse	427.609	
Etageboligbebyggelse	549.852	
Kollegier	17.772	
Døgninstitutioner	102.530	
Anden helårsbeboelse	11.764	
<b>Boliger i alt</b>	<b>2.707.803</b>	49%
Fabrikker, værksteder og lign.	518.161	
El-, gas-, vand- og varmegærker	46.088	
Anden bygning til produktion	73.909	
Transport- eller garageanlæg	108.231	
<b>Produktionsbygninger i alt</b>	<b>746.390</b>	14%
Bygninger til kontor, handel, lager, offentlig administration mv.	1.153.723	
Bygninger anvendt til hotel, restauration, frisør o.l.	75.342	
Uspec. transport og handel	25.952	
<b>Kontorbygninger i alt</b>	<b>1.255.017</b>	23%
Bygninger anvendt til bibliotek, kirke, museum o.l.	40.357	
Bygninger anvendt til undervisning, forskning o.l.	210.397	
Bygninger anvendt til hospital, sygehus o.l.	47.014	
Bygninger anvendt til daginstitutioner	49.092	
Uspecificeret institution	21.131	
<b>Kulturbygninger i alt</b>	<b>367.992</b>	7%
Sommerhuse	270.077	
Uspecificeret ferieførmål	8.338	
Idrætshaller, klubhuse	110.965	
Kolonihavehuse	1.938	
Uspecificeret fritidsformål	30.014	
<b>Bygninger til fritidsformål i alt</b>	<b>421.332</b>	8%
<b>I alt</b>	<b>5.498.534</b>	

Det er interessant at estimere potentialet på landsplan for mulige effekter ved krav om indlejret energi og miljøpåvirkninger i bygninger. Baseret på resultater fra beregningseksemplerne for parcelhuse, etageejendomme og kontorhuse foretages i tabel 7 overslagsberegninger på hhv. indlejret energi og indlejret drivhuseffekt for disse bygningstyper (som udgør 79 % af det samlede årlige byggede areal).

Tabellen viser, at på baggrund af det gennemsnitlige årlige byggede areal, vil det samlede niveau for den indlejrede energi ligge på 8,2– 9,4 TWh, og den samlede indlejrede drivhuseffekt vil ligge på 1,6 – 2,0 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

Desuden er det forsøgt at estimere potentialet for reduktioner af indlejret energiforbrug og indlejrede drivhuseffekter ved opførelse af bygninger ud fra den antagelse, at der med en indsats på området fx kan opnås 20 % reduktioner i forhold til beregningseksemplerne. En sådan reduktion på 20 % er blot et skøn over, hvad der kan være et realistisk mål. Dette giver en mulig årlig reduktion i størrelsesordenen 1,6 – 1,9 TWh og 0,3 – 0,4 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter for hele bygningens livscyklus ved indsatser, der omfatter bygningstyperne boliger, kontorbygninger og kulturbygninger. Til sammenligning var det danske årlige energiforbrug til bygninger på ca. 270 PJ, som svarer

til 75 TWh, og den årlige udledning af drivhusgasser fra bygninger 14,6 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (Energistatistik 2015). Dette svarer til en mulig reduktion af det indlejrede energiforbrug til bygninger på 2,3 % af det årlige driftsenergiforbrug i bygninger i 2015 og en mulig reduktion af indlejrede drivhusgasser på 2,4 % af de årlige CO<sub>2</sub>-emissioner, som kan relateres til driftsenergiforbrug i bygninger.

Tabel 7. Overslagsberegninger for indlejret energi og drivhuseffekt over bygningernes livscyklus, samt potentiale for reduktion ved estimat af mulighed for 20 % reduktion i forhold til beregningseksempelernes resultater.

	Areal (m <sup>2</sup> )	Indlejret over bygningsty- pernes livscyklus		Potentiale ved 20 % Reduktion årligt	
		Indlejret energi (MWh)	Indlejret drivhuseffekt (ton CO <sub>2</sub> -ækv)	Indlejret energi (MWh)	Indlejret drivhuseffekt (ton CO <sub>2</sub> -ækv)
Boliger					
– Stuehuse til landbrug, parcel- og rækkehuse	2.025.885	4.594.700	904.400	918.900	180.900
– Etageboliger, kollegier, døgn- institutioner og anden hel- årsbolig	681.918	1.137.400- 1.702.100	148.100 - 233.200	227.500- 340.400	29.600- 46.600
Kontor- og kulturbygninger	1.623.010	2.480.000 - 3.116.200	581.700 - 901.095	496.000- 623.200	116.300- 180.200
I alt over bygningernes livscyklus	4.330.813	8.212.100- 9.413.000	1.634.200- 2.038.700	1.642.400- 1.882.600	326.800- 407.700

Beregningerne viser, at der er et stort potentiale i at nedbringe miljøbelastningerne for parcelhuse, idet der bygges mange parcelhuse. En barriere for, at kravet skal omfatte også mindre bygninger, kan være de omkostninger, som er forbundet med at udarbejde en LCA-vurdering og at inddrage dette som et redskab i designfasen af et byggeri. Omkostningerne vil afhænge af udformningen af et krav, dvs. hvad formålet og omfanget af beregningen er. I det fremtidige arbejde bør udgifterne til udførelse af en LCA undersøges nærmere.

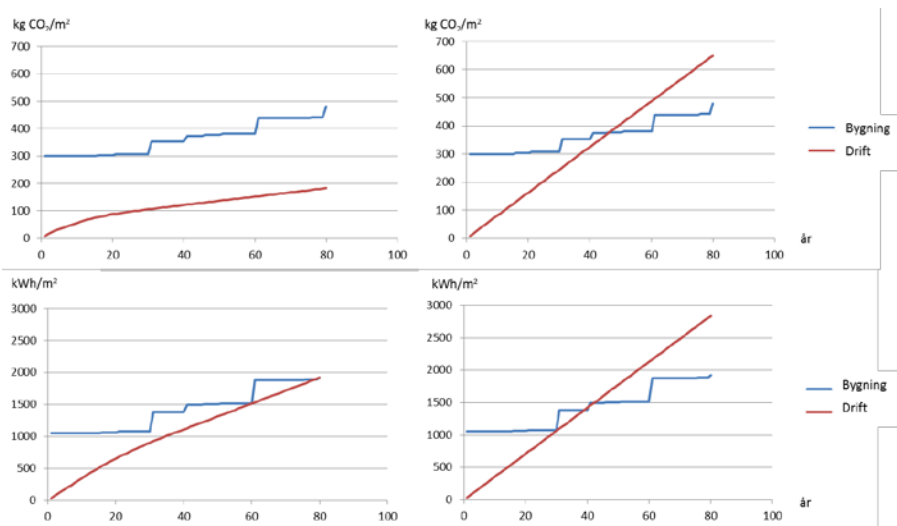
I Holland sættes der krav til, at der skal beregnes LCA for CO<sub>2</sub>-ækvivalenter og begrænsede ressourcer for kontorer og boliger ned til 100 m<sup>2</sup>. Det vil være interessant at undersøge, hvilke omkostninger de har i Holland til beregning af LCA på forskellige bygningstyper, og hvad deres krav mere specifik indeholder. Dette ligger dog uden for rammerne af dette projekt.

## Driftsenergiscenariernes betydning for resultaterne

Figur 9 og 10 viser, at driftsenergien udgør 38-53 % af det totale primær-energiforbrug og 17-50 % af bidraget til global opvarmning beregnet over bygningernes levetid på hhv. 80 år for kontorer og 120 år for boliger. Disse beregninger er baseret på LCAbyg's driftsenergiscenarier, som tager udgangspunkt i politiske mål om øget andel af vedvarende energi i dansk energiforsyning. Det indebærer værdier for forventet sammensætning af energikilder i perioden 2015-2050 baseret på politiske målsætninger. El (inkl. el til varme) samt fjernvarmeproduktionen fremskrives. Dette scenario kan betragtes som et "best case scenario" for udviklingen for energiforsyningen, hvilket dog ikke er et urealistisk scenario for energiforsyningens fremtidige sammensætning og miljøpåvirkninger.

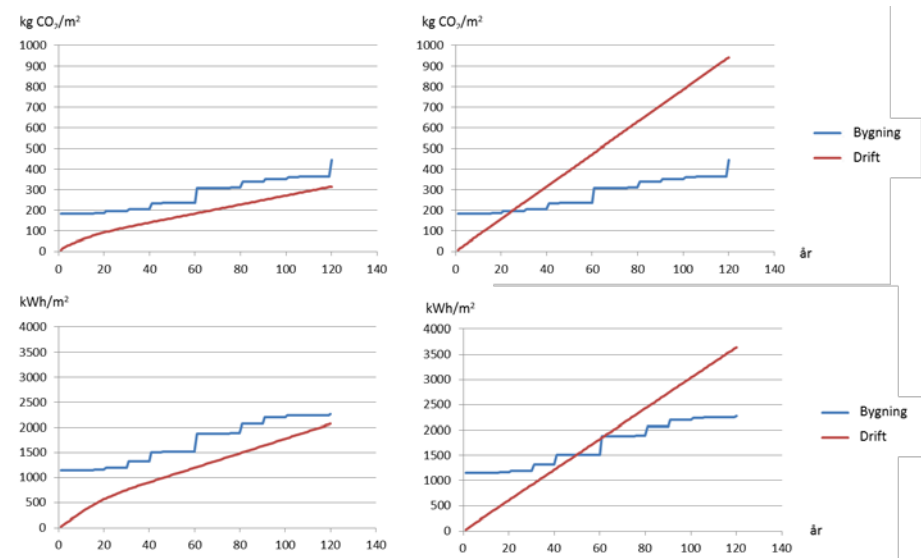
LCAbyg tillader også brugen af et energiscenario uden fremskrivning, men det tager udgangspunkt i, at sammensætningen af energikilder og tilhørende miljøpåvirkninger følger et 2015-scenario over hele bygningens livscyklus på

hhv. 80 og 120 år. Dette scenario kan betragtes som et "worst case scenario" for udviklingen for energiforsynings sammensætning, men samtidig et forholdsvis urealistisk scenario, idet det er meget usandsynligt, at energikildernes sammensætning, som den var i 2015, fortsætter 100 år ud i fremtiden. Der er kun regnet med en udvikling i energisystemet i forhold til driftsenergien og ikke i forhold til de indlejrede miljøpåvirkninger fra materialerne. Dette vil særligt have en betydning for de indlejrede drivhusgasemissioner fra udskiftning af materialer i betragtningsperioden, idet der med fremtidens ændrede sammensætning af energikilder vil udledes færre drivhusgasser ved forbrug af energi til fremstilling af materialer. Muligvis vil materialer i fremtiden også kunne fremstilles mere energieffektivt. Det kan således forventes, at de indlejrede drivhusgasser og den indlejrede energi for bygningens materialer vil være lavere end angivet i figur 9 og 10. Særligt for bygninger med mange udskiftninger og en lang betragtningsperiode. Det er interessant at se forholdene mellem driften og de indlejrede påvirkninger over hele bygningens livscyklus afhængigt af, hvilket driftsenergisecenario der anvendes. Dette vises for hhv. tungt kontorhus og parcelhus på figur 11 og 12. Figurerne viser, at forholdet mellem drift og bygning, som forventet, er afhængige af, hvilket scenario der anvendes.



Figur 11. Kontorbygning-tung: Akkumuleret global opvarmning og primærenergiforbrug over bygningens livscyklus på 80 år med fremskrivningsscenario for driftsenergi (til venstre) og driftsenergi-scenario 2015 (til højre).

Figur 11 viser, at anvendelse af fremskrivningsscenariet for kontorhuset betyder, at det samlede bidrag fra driften til global opvarmning er ca. 50 % af det samlede bidrag fra de indlejrede påvirkninger (øverste venstre graf). For primærenergien betyder det, at bidrag fra drift og indlejretlander på ca. samme niveau efter 60 år og igen ved afslutningen af betragtningsperioden ved 80 år (nederste venstre graf). Anvendelse af 2015-data for energiforsyningen ("worst case scenario", grafer til højre) viser, at for global opvarmning bliver bidraget til global opvarmning fra driften på samme niveau som fra bygningen efter mere end 40 år og efter 30-40 år for primærenergien. Det skal bemærkes, at stigningen for materialerne i bygningen i det sidste år skyldes bortskaffelse.



Figur 12. Parcelhus: Akkumuleret global opvarmning og primærenergiforbrug over bygningens livscyklus på 120 år med fremskrivningsscenario for driftsenergi (til venstre) og driftsenergi-scenarier 2015 (til højre).

Figur 12 viser forholdene for parcelhuset. Anvendelse af fremskrivningsscenariet betyder, at det samlede bidrag fra driften er på ca. samme niveau som det samlede bidrag fra de indlejrede påvirkninger for både global opvarmning og primærenergi. Anvendelse af 2015-data for energiforsyningen ("worst case scenario") viser, at for global opvarmning bliver bidraget til global opvarmning fra driften på samme niveau som fra bygningen efter 20 år og efter 40-60 år for primærenergien.

Vores anbefaling er, at fremskrivningsscenariet anvendes for LCA beregninger for bygninger (svarende til figurene til venstre på figur 11 og 12).

Det skal dog bemærkes, at der for bygningernes energiforbrug, som nævnt, er taget udgangspunkt i standardiserede energirammeberegninger. Som følge af et øget komfortniveau kan det reelle energiforbrug ende med at være noget højere.

Det er dog vurderingen, at der til trods for dette, og uanset hvilke scenarier der anvendes for driftsenergiforbruget ("best case scenario" eller "worst case scenario"), vil være muligheder for betydelige effekter ved indsatser over for indlejret energi og indlejrede drivhusgasser.

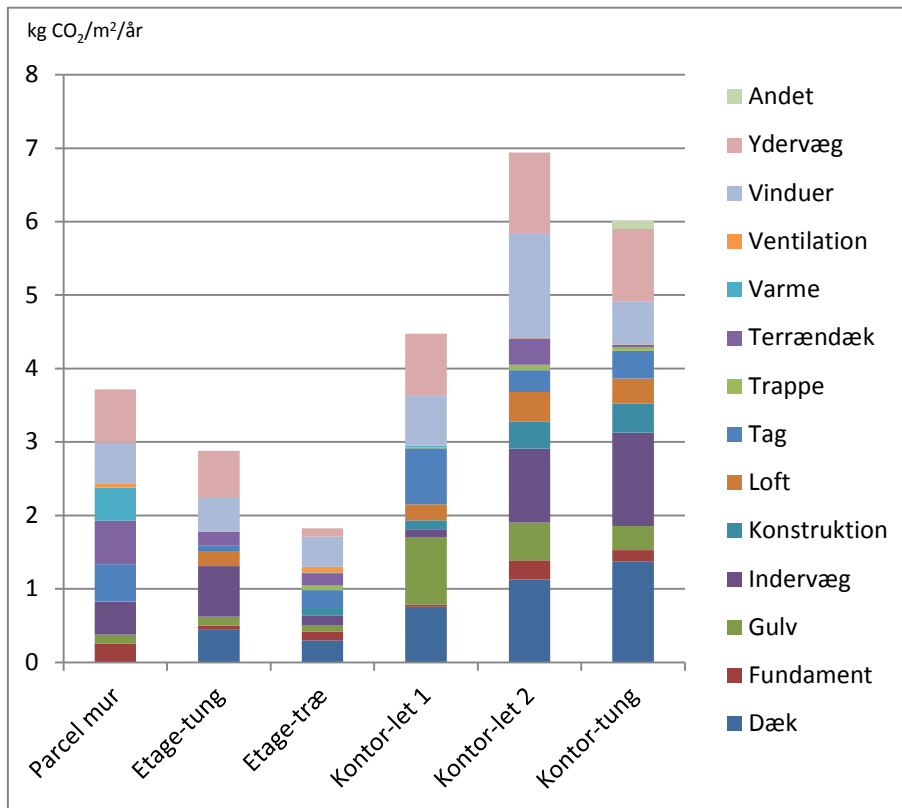
## Hvor detaljerede behøver beregningerne at være?

Det største arbejde i forbindelse med at udføre en LCA ligger i dataindsamlingen i forbindelse med opbygning af modellen og mængdeopgørelsen af bygningsdele, konstruktioner og materialer. Et vigtigt spørgsmål, når der skal udføres LCA-beregninger for bygninger, er, hvor detaljerede beregningerne bør være. Herunder hvilke bygningsdele der bør inkluderes, og hvor detaljerede beregninger der er behov for.

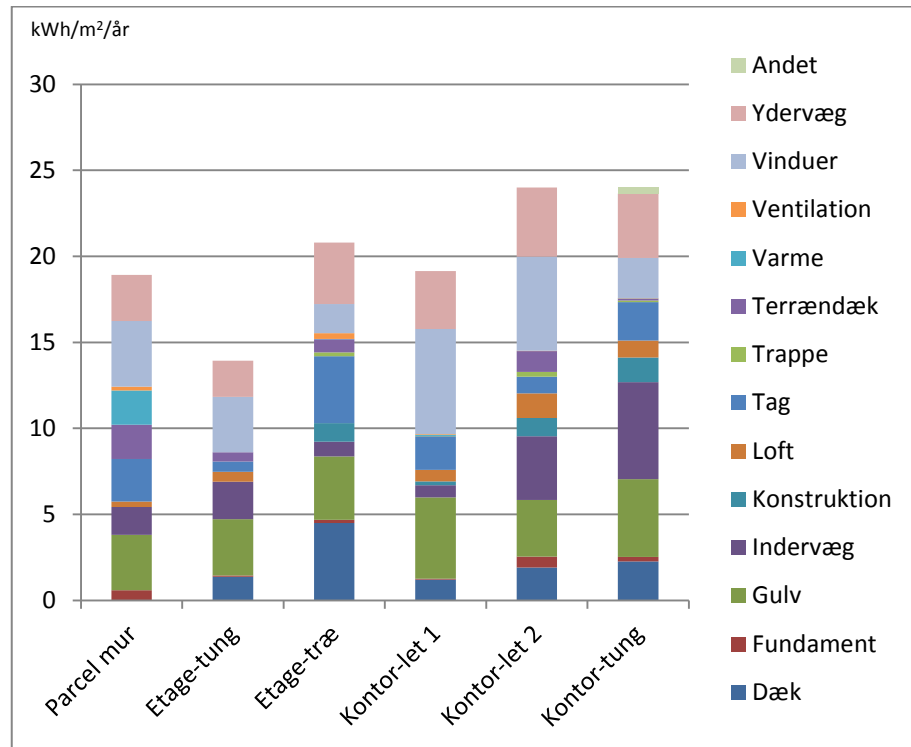
Figur 13 og 14 viser hhv. indlejrede drivhusgasser og energi for de seks beregningseksempler. Det fremgår, at de fleste inkluderede bygningsdele har en betydning i vurderingen, selvom det varierer for de forskellige bygningstyper. Derfor er det umiddelbart ikke muligt at udpege nogle bygningsdele, som med sikkerhed kan undlades i beregningerne.

Det er et gennemgående resultat, at de tekniske systemer (fx varme og ventilation) er af mindre betydning i de seks beregnede bygningsscases, men vo-

res erfaring er, at det skyldes manglende oplysninger i mængdeopgørelserne og mangel på data for fx solceller (som nu er tilgængelige i Ökobau version 2016). Netop dette blev undersøgt i et særskilt studie (Birgisdottir, H. og Rasmussen, F.N., 2016), hvor konklusionen var, at registrering af tekniske systemer generelt var mangelfulde i LCA'en på de DGNB-certificerede bygninger, dette af samme grunde som nævnt ovenfor, dvs. pga. mangler i mængdeopgørelse og manglende LCA-data. Fx har der længe manglet data for solpaneler og solceller, således at de indlejrede påvirkninger ikke har været medtaget i LCA-beregningerne, selvom energibesparelsen på driftsenergien har været medtaget og har stor betydning for bygningens samlede resultat.

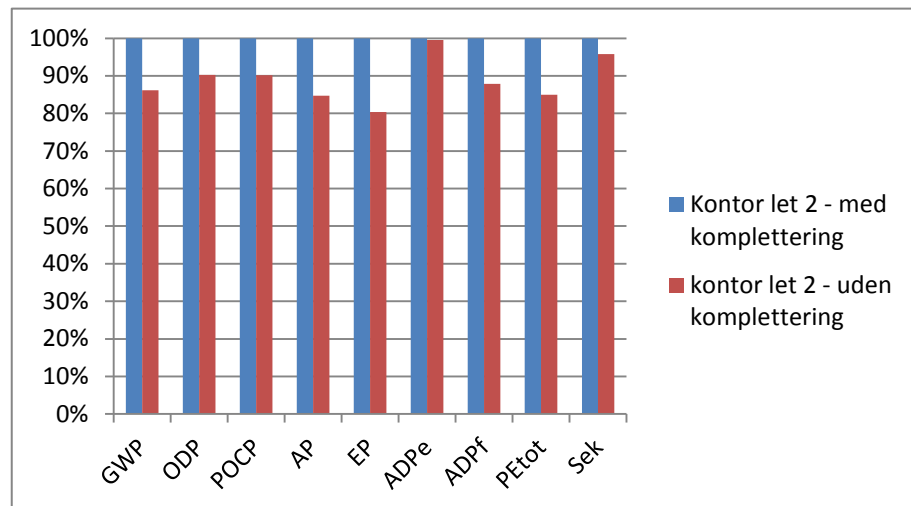


Figur 13. Indlejrede drivhusgasemissioner/global opvarmning (kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/m<sup>2</sup>/år) fordelt på bygningsdele.



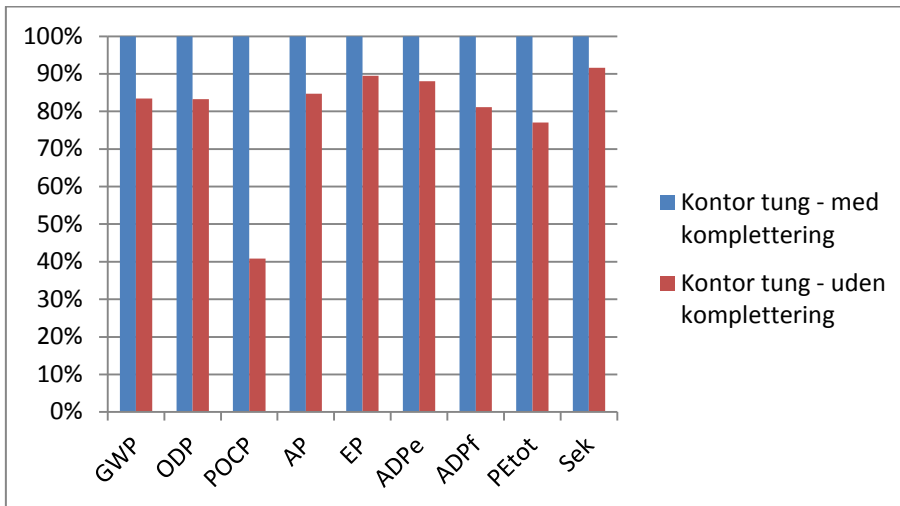
Figur 14. Indlejret energi (kWh/m<sup>2</sup>/år) fordelt på bygningsdele.

Hvad angår detaljeringsgraden er det også interessant at undersøge, om komplettering har indflydelse på LCA's resultater. Dette er vurderet for to bygninger, hhv. kontor-let 2 og kontor-tung. Figur 15 og 16 viser, at komplettering har betydning for resultaterne. De indlejrede drivhusgasser (GWP) bliver 14-17 % lavere uden komplettering, og den indlejrede primærenergi (PEtot) 15-23 % lavere. Endnu større betydning ses for andre miljøpåvirkningskategorier, som fx fotokemisk ozondannelse (POCP) for kontor-tung.



Figur 15. Kontor-let 2 med og uden komplettering, beregnet for ni miljøpåvirkningskategorier. Se forklaringer på de ni miljøpåvirkningskategorier i afsnittet 'Bygningens livscyklus og indlejrede energi og miljøpåvirkninger' ovenfor.





Figur 16. Kontor – tung med og uden komplettering, beregnet for ni miljøpåvirkningskategorier.

## Opsummering

Med udgangspunkt i seks opstillede eksempler er resultaterne for de totale udledninger af drivhusgasemissioner og total primærenergiforbrug beregnet, fordelt på drift og materialer for de forskellige bygningstyper. Holdes påvirkningerne fra opførelse af bygningerne op mod det samlede areal, ses der særligt et potentiale i at stille krav til boliger (inkl. parcel- og rækkehuse), samt kontorer, idet de udgør henholdsvis ca. 40 % og 23 % af det byggede areal.

Undersøgelsen viser, at forholdet mellem den indlejrede energi og de indlejrede drivhusgasemissioner og drift afhænger af driftsenergiscenariet, men at der, uanset scenariet, vil ligge et betydeligt potentiale i indsatser over for indlejret energi og indlejrede drivhusgasser.

Undersøgelsen viser, at de fleste bygningsdele har en betydning for LCA-vurderinger, men at betydningen kan variere for forskellige bygningstyper. Derfor er det ikke umiddelbart muligt at udpege nogle bygningsdele, som med sikkerhed kan undlades i beregningerne. Hvad angår detaljeringsgraden viser undersøgelsen, at komplettering har en væsentlig betydning for resultaterne. De indlejrede drivhusgasser bliver 14-17 % lavere uden komplettering og den indlejrede primærenergi 15-23 % lavere.

# Betydende forhold for den indlejrede energi og miljøpåvirkninger

Formålet med dette afsnit er at bruge beregningseksemplerne til at undersøge forskellige forhold, som kan have indflydelse på indlejret energi og miljøpåvirkninger. Først ser vi på, om materialetunge bygninger giver anledning til større belastninger end bygningstyper med lette konstruktioner. Derefter belyser vi forskellige materialetypers og levetiders indflydelse på resultaterne.

## Tunge versus lette bygninger

I det følgende forsøges at få en indikation på, hvordan et krav til beregning af indlejret energi og miljøpåvirkninger evt. vil kunne påvirke bygningsmassen. Tabel 8 viser areal og vægt af materialer for fire af de seks beregningseksempler, samt resultaterne for indlejret energi og indlejrede drivhusgasser. Det er valgt kun at sammenligne de to etagebygninger med hinanden og de to kontorbygninger med hinanden. Resultaterne kan ikke sammenlignes på tværs af bygningstyper, idet boligerne beregnes over en 120 års betragtningsperiode og kontorbygningerne over en 80 års betragtningsperiode. Eksemplet for kontorbygninger viser et andet resultat end umiddelbart forventet, idet kontor-let har højere indlejret totalt primærenergiforbrug og indlejrede drivhusgasser i samme størrelsesorden som kontor-tung. Eksemplet for boliger viser, at etage-træ (let) har højere totalt primærenergiforbrug end etage-tung pga. indlejret fornybar-energi i selve træet, som anvendes som byggemateriale. Derimod er indlejrede drivhusgasser højere for etage-tung i forhold til etage-træ, men det forklares hovedsagelig ved "CO<sub>2</sub>-neutraliteten" af træet som bygningsmateriale. Resultaterne fra sammenligning af disse fire eksempler indikerer ikke en umiddelbar sammenhæng mellem bygnings masse og deres indlejrede energi og drivhusgasser. For at kunne undersøge dette nærmere er der brug for større datagrundlag med langt flere bygningscases.

Tabel 8. Vægten af materialer der indgår i beregningseksempler ved opførelse af bygningen, samt sammenligning af bygningernes vægt og indlejret energi og indlejrede drivhusgasser. De højeste værdier er markeret med fed.

Beregnings-eksempel	Areal (m <sup>2</sup> )	Vægt (ton)	Vægt/areal (kg pr m <sup>2</sup> )	Totalt primærenergiforbrug (kWh/m <sup>2</sup> /år)	Global opvarmning (kg CO <sub>2</sub> -æk/m <sup>2</sup> /år)
Etage-tung	1.440	1.470	1.020	13,9	2,9
Etage-træ	4.000	1.930	483	20,8	1,8
Kontor-let 2	12.944	17.473	1.350	24,0	6,9
Kontor-tung	6.190	10.500	1.690	24,0	6

## Levetider for bygninger og byggevarer

Resultaterne af en LCA-vurdering afhænger af, hvilken betragtningsperiode der sættes for bygningen og levetiderne for dens byggevarer. Opførelsen af bygningen (modul A) vægtes oftest højest af alle faser, der indgår i bygningens livscyklus, mens længden af betragtningsperioden har indflydelse på

antal udskiftninger af materialer, der indgår i vurderingen. Dermed kan en længere betragtningsperiode udtynde belastningen fra opførelsen (idet belastningen fordeles over flere år), mens en for kort betragtningsperiode ikke tilgodeser eventuel langtidsbesparelse ved valg af langtidsholdbare materialer. Derfor er der i det følgende valgt at se på forskellen mellem bygningscasene kontor-let2 (som forventes at have flere udskiftninger) og kontor-tung (som forventes at have færre udskiftninger).

Tabel 9 og 10 viser forskellen i resultaterne ved anvendelse af en betragtningsperiode på hhv. 50, 80 og 120 år for kontorbygningerne kontor-let 2 og kontor-tung. Tabellen viser, at for den globale opvarmning er forskellen mellem kontor-let 2 og kontor-tung på 13 % ved en betragtningsperiode på 50 år, men at forskellen stiger til 15 % for en betragtningsperiode på 80 år og 23 % for en betragtningsperiode på 120 år. Dette betyder at kontor-let2 altid har en højere belastning end kontor-tung, men forskellen bliver større, når bygningerne vurderes over en længere periode. Længden af betragtningsperioden viser sig at have mindre betydning for primærenergiforbruget, hvor forskellen blot ligger på 0-4 %.

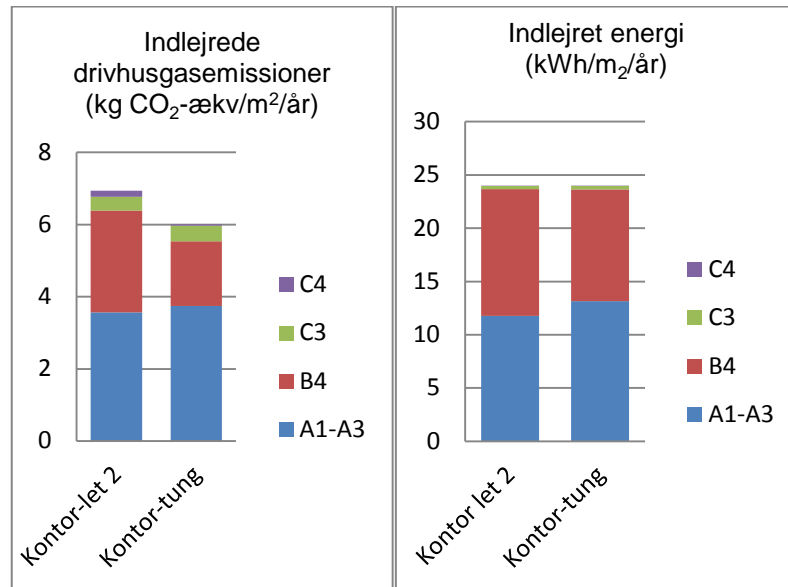
Tabel 9. Global opvarmning (kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/m<sup>2</sup>) ved forskellige betragtningsperioder

	50 år	80 år	120 år
Kontor-let2	467,0	555,2	685,2
Kontor-tung	415	480,8	559,2
Forskel	13 %	15 %	23 %

Tabel 10 Total primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>) ved forskellige betragtningsperioder

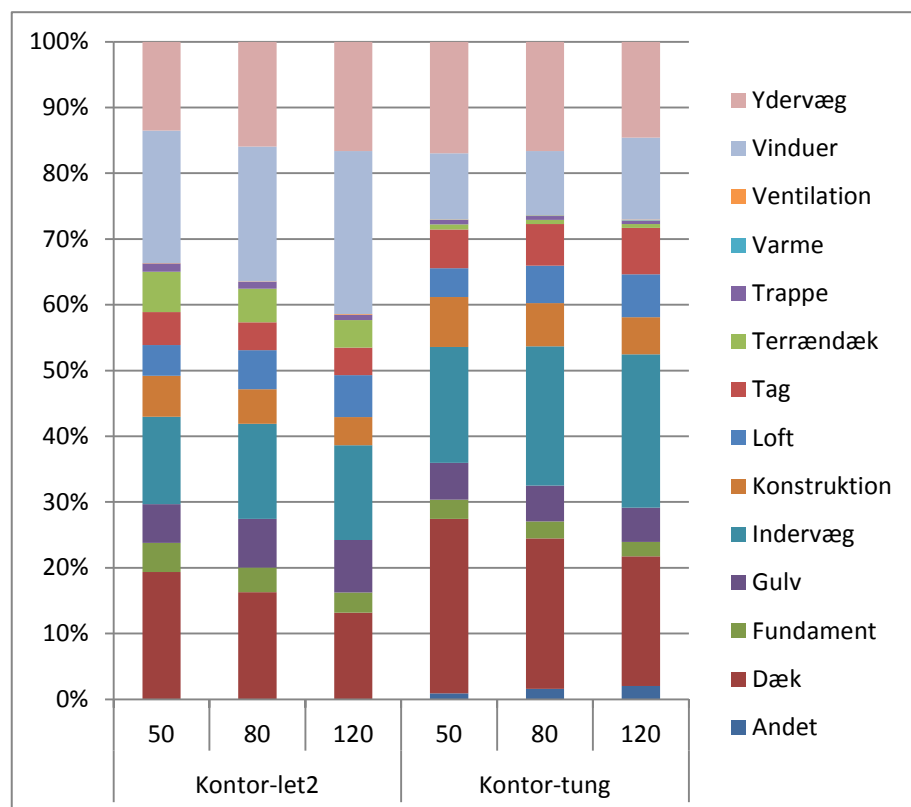
	50 år	80 år	120 år
Kontor-let2	1.545	1.920	2.460
Kontor-tung	1.530	1.920	2.376
Forskel	1%	0%	4%

Figur 17 viser resultaterne fordelt på livscyklusfaser. Her ses det, at de to kontorbygninger har lignende indlejret primærenergi og indlejlrede drivhusgasser for opførelsesfasen (A1-A3). Forskellen ligger særligt i, at der sker flere udskiftninger (B4) i Kontor-let 2 end i Kontor-tung.



Figur 17. Indlejrede drivhusgasemissioner og energi fordelt på livscyklusfaser beregnet for betragtningsperiode på 80 år. Opførelsesfasen/produktion af materialer A1-A3, udskiftninger B4, affaldsbehandling C3, bortskaffelse C4.

Figur 18 illustrerer, at det særligt er ydervægge, vinduer, indervægge, lofter samt gulve, som med deres forholdsvis korte levetider er grunden til udskiftningerne og dermed de stigende udledninger af CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> for kontor-let2 ved længere betragtningsperioder.



Figur 18. Global opvarmning procentvis fordelt på bygningsdele set for forskellige betragtningsperioder på 50, 80 og 120 år.

Denne undersøgelse indikerer, at bygninger som indeholder mange byggevarer med korte levetider, så som glas/alufacader samt flisetæppebelagte gulve og malede gipslofter med korte levetider, særligt er følsomme over for længere betragtningsperioder, da de mange udskiftninger kræver meget energi og ressourcer. Undersøgelsen er kun baseret på sammenligning af to

bygningsscases. Det ville derfor være interessant at undersøge dette nærmere med flere bygningsscases.

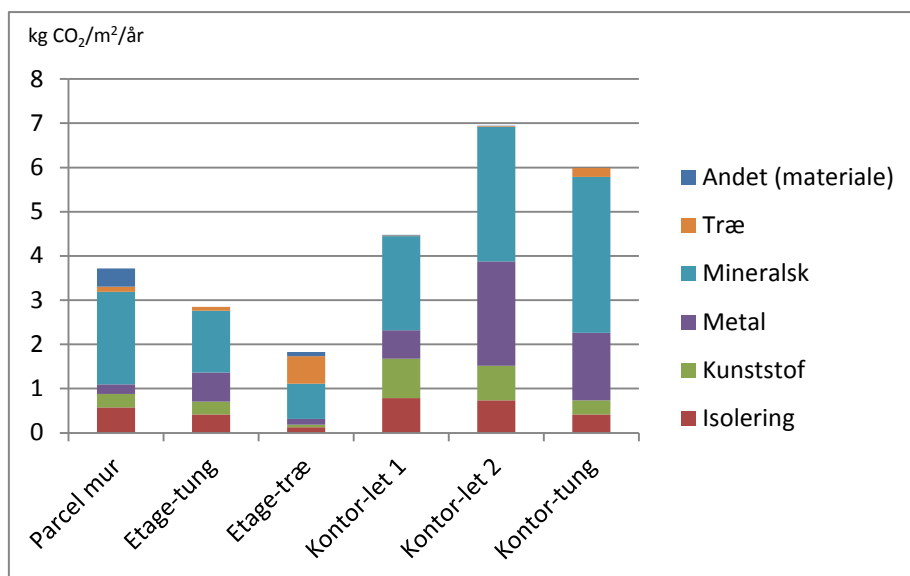
## Materialer

I det følgende undersøges, hvordan et krav til beregning af indlejret energi og miljøpåvirkninger vil kunne påvirke valget af materialer. Et krav om at der skal udføres beregninger på indlejrede miljøpåvirkninger, vil ikke nødvendigvis i sig selv påvirke den måde, der bygges på, men hvis der stilles krav til niveauet for indlejrede påvirkninger og energi, kan det få en indflydelse på byggemetoder og materialevalg.

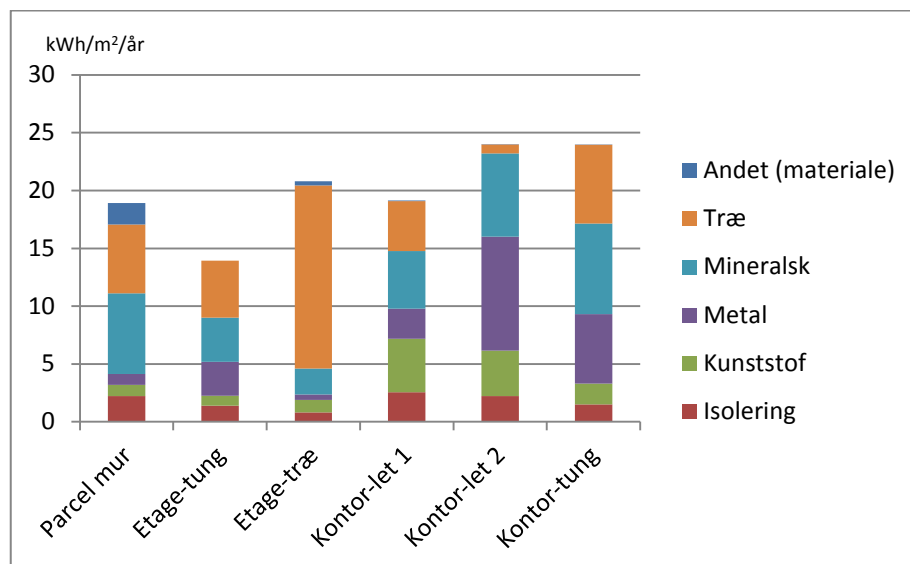
Figur 19 og 20 viser resultaterne for hhv. indlejrede drivhusgasser og indlejret primærenergi fordelt på materialer. Betragter man i figur 19 eksemplet kontor-let 2, som har den højeste udledning af kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, ses det, at 3,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år udledes pga. mineralske materialer. Det er særligt dæk, vinduer og indervægge, som indeholder mineralske materialer (hovedsagelig beton og glas) og som giver anledning til denne udledning.

Materialer af metal bidrager med 2,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Bidraget kommer særligt fra ydervæggene, vinduerne og indervæggene, der indeholder metal. Kunststofferne i kontor-let-2 giver anledning til en udledning på 0,8 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Det er særligt gulve, tagpap og maling fra vægge og lofter, som består af kunststof. Isolering bidrager med 0,7 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Disse udledninger stammer fra terrændækket, som indeholder EPS-isolering, ydervæggene, som indeholder mineraluldsisolering, samt taget som består af begge typer isolering.

Dette kan sammenlignes med eksemplet etage-træ, der har en meget lav udledning pr. kvadratmeter. Bidraget fra isolering er kun på 0,1 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Dette skyldes, at der i eksemplet hovedsageligt benyttes papiruldsisolering, som har et forholdsvis lavt bidrag til global opvarmning. Derudover er metal, kunststoffer og mineralske materialer holdt på et minimum, og i stedet er der anvendt træ, hvilket samlet set giver relativt lave udledninger for disse materialer og en udledning på 0,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år for træmaterialerne i bygningen.

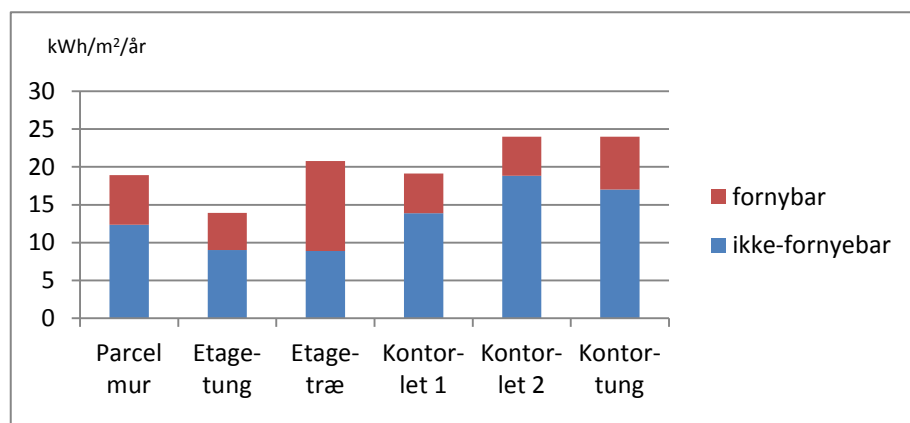


Figur 19. Indlejrede drivhusgasemissioner/global opvarmning (kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/m<sup>2</sup>/år) fordelt på materialer.



Figur 20. Indlejret total primærenergi (kWh/m<sup>2</sup>/år) fordelt på materialer.

Overordnet viser figur 20, at den største forskel i materialepåvirkningen skyldes stor brug af træ i eksemplet Etage-træ, hvilket har en noget større betydning for den indlejrede energi end det fremgik af figur 19 for de indlejrede drivhusgasemissioner. Særligt er den indlejrede energi i eksemplet etage-træ forholdsvis højt i forhold til etage-tung-eksemplet. Som forklaret tidligere, er en stor del af den indlejrede energi fornybar energi bundet i selve træmaterialet. Derfor er det interessant at se fordelingen mellem fornybar og ikke-fornybar indlejret energi i de seks beregningseksempler. Figur 21 viser, at eksemplet etage-træ har den laveste indlejrede ikke-fornybare energi af de seks beregningseksempler, og at den indlejrede fornybare energi udgør næsten 60 % af den samlede indlejrede primærenergi.



Figur 21. Indlejret energi (kWh/m<sup>2</sup>/år) fordelt på fornybar og ikke-fornybar energi.

Denne undersøgelse viser, at nogle materialer giver anledning til færre drivhusgasemissioner end andre. Bygninger der primært er konstrueret af træmaterialer, vil fx give anledning til færre drivhusgasemissioner end bygninger, hvor der i højere grad er anvendt metal og mineralske materialer.

Udfaldet for de forskellige bygningskonstruktioner er mere jævnbrydigt, når man betragter den indlejrede energi. Dette skyldes særligt, at træ i sig selv betragtes som indeholdende en potentiel energimængde. Hvis den indlejrede energi opdeles i fornybar og ikke fornybar energi, vil billedet for den indlejrede, ikke fornybare energi variere mere for de forskellige cases, og udfaldene vil være mere sammenlignelige med det overordnede billede for de indlejrede drivhusgasemissioner.

Et krav om at lave beregning på bygningers indlejrede miljøpåvirkninger og energi vil kunne føre til læring om, hvilke materialer der har betydning for de indlejrede energi- og miljøpåvirkninger fra bygninger. Dette vil muligvis i sig selv kunne påvirke fremtidens byggeri. Et udledningskrav vil kunne få indflydelse på materialevalg og byggemetode, desuden vil det muligvis kunne føre til en udvikling af byggevarerområdet i retning af større fokus på minimering af de indlejrede påvirkninger.

## Opsummering

Sammenligningen af hhv. tung og let kontorbygning og etagebygning kunne ikke entydigt vise en sammenhæng mellem bygningers masse og deres udledning. Der er behov for grundigere undersøgelser baseret på langt flere bygningsscases for at kunne give svar på, om der er en sådan sammenhæng. Derimod har betragtningsperioden, der sættes for bygningen og byggevarernes levetid, stor betydning for udfaldet af en LCA-vurdering. Analysen af de seks beregningseksempler viser, at bygninger som indeholder mange byggevarer med korte levetider, er særligt følsomme over for længere betragtningsperioder, da de mange udskiftninger kræver meget energi og mange ressourcer.

Derudover viser undersøgelsen, at materialesammensætningen i nogle konstruktioner giver anledning til færre drivhusgasemissioner end andre, selvom der ikke ses samme variationer ved betragtning af den indlejrede energi. Dette skyldes, at træ i sig selv betragtes som indeholdende en potentiel indlejret energimængde. Hvis man i stedet betragter den indlejrede ikke fornybare energi, vil udfaldene være mere sammenlignelige med resultaterne for de indlejrede drivhusgasemissioner.

Et krav om at lave beregninger på bygningers indlejrede miljøpåvirkninger og/eller energi og et evt. mål for dette vil kunne påvirke måden, der vil blive bygget på i fremtiden. Et krav vil kunne føre til læring om konstruktioner og byggevarers miljømæssige egenskaber, som både afhænger af deres levetid, fremstilling, materialeindhold og bortskaffelse. Derudover kan det forventes, at et krav også vil få betydning for udviklingen af robuste materialer med lav miljøpåvirkning. Indførelse af krav vil desuden kunne virke som driver af udviklingen, på samme måde som det er sket med driftsenergikravene i BR.

Det er dog samtidig vigtigt at sikre, at et krav ikke udgør en forhindring for at opføre bygninger af høj arkitektonisk kvalitet, da bevaringsværdige bygninger har en længere levetid og dermed et mindre fodaftryk pr. år, bygningen benyttes.

# Indlejret energi og miljøpåvirkninger i forhold til lovgivningen

Formålet med dette afsnit er at give en kortfattet oversigt over lovgivning og udviklingsarbejde i Danmark og Europa, som kan have indflydelse på mulighederne for eventuel fremtidig formulering af krav vedr. indlejret energi og miljøpåvirkninger i Danmark.

## CEN TC 350 standarder for LCA

CEN/TC 350 Sustainability of construction works har været ansvarlig for udviklingen af frivillige harmoniserede europæiske standardiseringsmetoder til vurdering af bæredygtighedsaspekter af bygværker og for standarder til miljøvaredeklaration af byggevarer. Disse standarder har været tæt forbundet til Byggevareforordningen. Helt konkret er der udarbejdet standarder for overordnet niveau, bygningsniveau og byggevareniveau for hvert af de tre bæredygtighedsaspekter. For den miljømæssige kvalitet og LCA er der således udarbejdet følgende standarder:

- DS/EN15643-2: 2011: Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygninger - Del 2: Rammer for vurdering af miljørelaterede egenskaber
- DS/EN15978: 2012: Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode
- DS/EN 15804 + A1:2013: Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer

Standarden for vurdering af bygninger (EN15978) har haft stor indflydelse på, hvordan LCA udføres på bygninger, fx i DGNB-metoden og for udviklingen af værktøjer som fx LCAByg i Danmark og eLCA i Tyskland.

Selvom der er udviklet en standard på byggevareniveau for den miljømæssige bæredygtighedsvurdering (EN 15804), tyder alt på, at der skal øget efterspørgsel til, før der for alvor kommer gang i udbredelsen og brugen af harmoniserede miljøvaredeklarationer for byggevarer i Danmark (Birgisdottir m.fl., 2013). I Danmark er der i december 2016 udviklet miljøvaredeklarationer for 12 byggevarer, i Norge over 300 og i Tyskland tæt på 1700. I dag udvikles de fleste miljøvaredeklarationer (environmental product declarations, forkortet EPD) i henhold til EN15804.

Der er i EU-regi igangsat et initiativ til udvikling af en fælles metode for evaluering af produkters miljøaftryk ved LCA (product environmental footprint, forkortet PEF). Denne nye metode forventes på sigt at have indflydelse på EN15804, standarden for miljøvaredeklarationer for byggevarer, og dermed også hvorledes EPD'er for byggevarer udarbejdes i forhold til EN15804. Dette forventes også at have en indflydelse på alle de EPD'er, der allerede er lavet for byggevarer i Europa. Der er i EU-regi et arbejde i gang med at harmonisere disse forskellige metoder og skabe en fælles opgørelsesmetode for miljødeklarering af byggevarer. Arbejdet har været i gang i nogle år, og det er forventningen, at processen også vil strække sig over flere år ud i fremtiden.



## Byggevarereforordningen

Byggevarereforordningen (Construction Product Regulation, CPR 305/2011/EF, 2011) bidrager til harmonisering af lovgivning indenfor EU. Byggevarereforordningen harmoniserer testmetoder og fastsætter regler for at-testering af byggevarer, deklaration af byggevarers ydeevne og krav om CE-mærkning. Der er via byggevarereforordningen opstillet rammer for at kunne stille krav til byggevarers miljømæssige bæredygtighed i forbindelse med miljøvaredeklaration i forbindelse med CE-mærkningen. Der er ikke færdig-udviklede retningslinjer for, hvordan denne deklaration skal udformes (Birgisdottir m.fl., 2013).

Byggevarereforordningens grundlæggende krav til bygværker giver harmoniserede muligheder for, at de nationale bygningsbestemmelser også kan omfatte krav til sundheds-, miljø- og ressourceforhold i hele livsforløbet for bygværker. Det er ikke Byggevarereforordningens formål at harmonisere medlemslandenes bygningsbestemmelser. Men kravene (basic work requirements, BWR) kan føre til, at nationale krav til byggevarers væsentlige egenskaber baseres på CEN-standarder, som sikrer harmonisering af metoder, indikatorer og produktdata, også når det gælder nye bæredygtighedsbestemmelser. Krav til værdier for ydeevnen, DoP, ved den påtænkte anvendelse skal udtrykkes på en ensartet måde, dvs. med det tekniske sprog som er anvendt i de harmoniserede tekniske specifikationer, men det er overladt til de regulerende myndigheder og kunderne på nationalt plan at fastsætte de konkrete kravværdier (Birgisdottir m.fl., 2013).

Miljøvaredeklarationerne (EPD'er) er et meget vigtigt element i den miljømæssige bæredygtighedsvurdering. Ind til der foreligger et fælles europæisk datagrundlag, vil det være muligt at opstille nationale krav til miljøvaredeklaration af byggevarer. Miljøvaredeklarationer bør anvendes til vurdering af bygningers miljøpåvirkning og anvendelse af ressourcer, i det omfang de foreligger. I dag ligger der, som tidligere nævnt, kun et begrænset antal danske miljøvaredeklarationer. Den miljømæssige bæredygtighedsvurdering baserer sig derfor i stedet på generiske data, hvilket dog stadig giver et godt billede af en bygningens miljøpåvirkning, hvis man sammenligner forskellige byggevarer typer som fx beton og træ. Dette tager blot ikke højde for nuancerne i miljøpåvirkningerne på tværs af sammenlignelige byggevarer, som fx forskellige malingstyper (Birgisdottir m.fl., 2013).

Byggevarereforordningens arbejde er således ikke nogen hindring for at stille nationale krav til indlejret energi og miljøpåvirkninger. Det skal dog overvejes, hvorvidt man ønsker at give mulighed for at basere sine beregninger på specifikke miljøvaredeklarationer.

Muligheden for at benytte produktspecifikke EPD'er kan være med til at sætte gang i efterspørgslen og dermed udviklingen af EPD'er. Det kan på sigt fremme producenternes fokus på at nedbringe miljøpåvirkningerne for deres produkter gennem hele livscyklussen og særligt produktionen af byggevarerne. Dermed kan det sætte skub i udviklingen inden for byggevarer.

Dog kan det medføre noget ekstra arbejde for producenterne, som evt. kan blive nødt til at lave nye EPD'er, når Byggevarereforordningens arbejde er færdigt. Det skal bemærkes, at EPD'ers aktualitet i forvejen hurtigt kan forældes, i og med at datagrundlaget hurtigt forældes pga. blandt andet den teknologiske udvikling.

## Bygningsdirektivet

I EU er bygningers energiforbrug reguleret af direktiv 2010/31/EU om bygningers energimæssige ydeevne. Direktivet indeholder mål for medlemslandenes indsats på området, men det er op til medlemslandene selv, hvordan målene skal nås. Ifølge direktivet skal alle nye bygningers energiforbrug være tæt på nul i december 2020 (december 2018 for offentlige bygninger). Når eksisterende bygninger renoveres, skal de gøres energieffektive til et "omkostningsoptimalt" niveau, der fastsættes af de enkelte medlemslande. I direktivet fremgår også, at det er vigtigt at reducere medlemslandenes drivhusgasemissioner.

Direktivet foreskriver, at bygningers energimæssige ydeevne skal beregnes ved hjælp af en metode, som kan differentieres på nationalt og regionalt plan. Dette omfatter foruden bygningens termiske egenskaber andre forhold, der spiller en stigende rolle, så som opvarmnings-, ventilations- og køleanlæg, anvendelse af energi fra vedvarende energikilder, bygningsdele der udnytter passiv opvarmning og køling, skyggeforhold, indendørs luftkvalitet, tilstrækkeligt dagslysindfald og bygningens udformning.

De enkelte lande har ansvaret for at opstille mindstekrav til bygningers og bygningsdeles energimæssige ydeevne. Kravene skal sigte mod en omkostningsoptimal balance mellem investeringer og sparede energiomkostninger i hele bygningens levetid.

Bygningers energimæssige ydeevne skal bestemmes ud fra den beregnede eller målte mængde energi, der årligt forbruges for at opfylde de forskellige behov, som er forbundet med typisk brug af en bygning. Dette omfatter behovet for energi til opvarmning og køling (energi, der benyttes for at undgå overophedning), så de planlagte temperaturforhold i bygningen kan oprettholdes, samt behovet for varmt brugsvand.

Bygningsdirektivet er i øjeblikket under revision, hvor der har været mulighed for at stille forslag om implementering af krav til indlejret energi. Det er forventningen, at der bliver tale om en mindre revision, da Kommissionen opfatter det nuværende direktiv som velfungerende. Det er ikke forventningen, at der i den nye revision af Bygningsdirektivet vil være krav om indlejret energi (Europa-Kommissionen, 2016).

Et krav om opgørelse af indlejret energi i Bygningsdirektivet vil være udfordrende, så længe der ikke foreligger et fælles europæisk metodegrundlag for miljødeklarering af byggevarer samt opgørelsesmetoder for bygningen. Bygningsdirektivets krav er blot minimumskrav, som de europæiske lande skal leve op til. Der er ikke nogen hindring for at stille krav om indlejret energi på nationalt plan. Bygningsdirektivet forhindrer ikke, at Danmark kan stille nationale krav om opgørelse og niveau af indlejret energi i bygninger.

## Energikrav til bygninger i Danmark

Energikravene til nybyggeri er baseret på energirammer, der dækker bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand samt, i andre bygninger end boliger, også belysning.

Energibehovet vægtes efter den anvendte primærenergi. For el anvendes en faktor på 2,5 ved sammenvæjning med varme. Elfaktoren ændres for bygningssklasse 2020 til 1,8. For varme, fx gas, olie og brænde samt fjernvarme,

anvendes i 2010 en faktor på 1,0. Fjernvarmefaktoren reduceres til 0,8 i forbindelse med byggeri 2015 og yderligere til 0,6 for bygningsklasse 2020.

I BR15 er der for alle bygninger indført en grænse for indregning af elproduktion i energirammen, så der højst kan medregnes en elproduktion fra vedvarende energianlæg som solceller og vindmøller svarende til en reduktion af behovet for tilført energi på 25 kWh/m<sup>2</sup> pr. år i energirammen.

Ved beregning af energibehovet tages der hensyn til bygningens klimaskærm, bygningens placering og orientering, herunder dagslys og udeklima, varmeanlæg og varmtvandsforsyning, bygningens varmeakkumulerende egenskaber, eventuelt ventilationsanlæg og klimakøling, solindfald og solafskærmning, naturlig ventilation og det planlagte indeklima. Ved bestemmelse af energibehovet kan der også tages hensyn til fx anvendelse af solvarme, solceller, varmepumper, kondenserende kedler, fjernvarme, anvendelse af varmegenvinding samt køling med ventilation om natten.

Der er en energiramme for boliger og en energiramme for andre bygninger end boliger. Anvendelse af energirammer som hovedkrav i nybyggeriet er en følge af EU-direktivet 2010/31/EU om bygningers energimæssige ydeevne.

## CO<sub>2</sub>-kvoteordningen

I den internationale Kyotoprotokol har EU forpligtet sig til at nedbringe sin CO<sub>2</sub>-udledning (Directive 2003/87/EC). Et middel til at opnå dette er EU's CO<sub>2</sub>-kvoteordning. Ordningen sætter et loft for, hvor meget CO<sub>2</sub> der må udledes og gør det samtidig muligt at handle med CO<sub>2</sub>-kvoter. En CO<sub>2</sub>-kvote er en ret til at udlede en afgrænset mængde CO<sub>2</sub>. Med kvoterne fastsættes en markedspris på udledningen af CO<sub>2</sub>.

Ordningen trådte i kraft i 2005 og kaldes officielt "European Union Greenhouse Gas Emission Trading System". Den er nu i gang med sin tredje periode, der løber fra 2013-2020. Samtidig forhandler EU's ministerråd om muligheden for en fjerde periode, løbende fra 2021 til 2030. Ordningen har løbende været under udvikling, og i tredje periode er der sket en yderligere ensretning, så alle lande administrerer efter fælles EU-regler. Ordningen er et af de politiske instrumenter, som benyttes til at regulere udledningen af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter fra virksomheder, som har særligt tung industri.

Et krav om at beregne indlejrede emissioner på bygninger vil i sig selv ikke kunne påvirke de kvotepålagte virksomheder. I et scenario hvor der stilles krav til niveauet for udledningen af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, kan man forestille sig, at særligt emissioner fra tunge materialer, som fx cement, vil benyttes i mindre grad end i dag, enten fordi der vil blive substitueret med andre, mindre belastende materialer, eller fordi der sker en optimering af udformningen af de elementer i byggeriet, som indeholder cement. Dette vil kunne medføre en potentiel nedgang i salget af cement og dermed i produktionen af cement eller udvikling af nye produktionsmetoder eller produkter med cementlignende egenskaber. Det vil også kunne betyde et mindre behov for at opkøbe CO<sub>2</sub>-kvoter fra disse virksomheders side, men virksomhederne vurderes ikke i sig selv at være dobbeltregulerede. Producenter vil konkurrere på lige konkurrencevilkår for at kunne levere efterspurgte produkter med en lav miljøbelastning.

# Muligheder for udformning af krav

Formålet med dette afsnit er at vurdere, om det på nuværende tidspunkt giver mening at løfte hensynet til byggematerialers ressource- og miljøbelastning ind i bygningsreglementet samt komme med bud på, hvordan sådanne (evt. frivillige) regler kan udformes.

## Ensartet metode

Den første forudsætning for, at der i bygningsreglementet kan stilles krav til byggematerialers ressource- og miljøbelastninger er, at der kan udføres troværdige LCA-beregninger på bygninger efter en ensartet metode. Derfor er det en forudsætning, at der

- foreligger et velfunderet metodegrundlag med fastlagte regneregler,
- findes et acceptabelt datagrundlag for de væsentligste byggevarer, og at dette er frit tilgængeligt
- er klarhed over hvilke levetider, der skal anvendes for de byggevarer, der indgår i forskellige konstruktioner,
- er adgang til et værktøj til udførelse af beregningerne.

Nogle af disse forudsætninger er allerede opfyldt, mens de øvrige kan blive det inden for rimelig tid, således at (eventuelt frivillige) bestemmelser om udførelse af LCA på bygninger meget snart kan indgå i bygningsreglementet. Dertil kommer et behov for uddannelse af rådgivere og kommunale byggesagsbehandlere.

Det er et vigtigt spørgsmål, hvilke omkostninger der er forbundet med udarbejdelse af velfunderede LCA-vurderinger på bygninger i forbindelse med sådanne bestemmelser. På baggrund af erfaringer fra udarbejdelse af LCA i forbindelse med DGNB-certificeringer vurderes det, at der ikke er uoverstigelige omkostninger ved større bygninger, som fx kontorer, skoler, etageboliger, hospitaler mv. Overslagsberegninger udført i dette projekt viser, at der er et stort potentiale i at nedbringe miljøbelastningerne for parcelhuse. En barriere for at kravet skal omfatte mindre bygninger, kan være de omkostninger, som er forbundet til at udarbejde en velfunderet LCA-vurdering i mindre, enkeltstående byggeprojekter, som fx parcelhuse. Omvendt vurderes det også muligt at stille krav ved repeterende byggeri, som fx typehuse eller rækkehuse.

Detaljeringsgraden af beregningerne har betydning for både omkostninger og muligheden for at opnå valide resultater, som kan sammenlignes på tværs af bygningstyper. Beregninger udført i dette projekt viser, at det er vanskeligt at udpege nogle specifikke bygningsdele, som har mindre betydning og eventuelt kan udelades fra beregningerne for at nedsætte kompleksiteten og dermed også omkostningerne ved udførelse af beregninger. Beregninger udført i dette projekt viser desuden, at eksklusion af komplettering i beregningerne vil medføre, at beregningerne ikke fanger 15 – 25 % af den indlejrede energi og drivhusgasser i bygningernes levetid. Undersøgelserne viser, at bygninger, som indeholder mange byggevarer med korte levetider og løsninger med meget mælarbejde er følsomme over for længere betragtningsperioder, da de mange udskiftninger kræver meget energi og ressour-

cer. Resultaterne er følsomme over for de anvendte levetider for både de forskellige designvalg og for byggevarer og bygningsdele, hvilket har betydning for, om der kan opnås ensartede, sammenlignelige resultater. Der er store usikkerheder forbundet med såvel detaljeringsgrad som levetider for komplettering. Derfor vurderes det, at komplettering på sigt bør være med i LCA på bygninger, men på nuværende tidspunkt kan der eventuelt opnås mere sammenlignelige resultater ved udeladelse af komplettering, som dermed nedsætter detaljeringsgraden af beregningerne.

Sammenligning af forskellige LCA-beregninger ved både DGNB-certificering af bygninger samt de seks beregningscases udført i dette projekt viser en stor variation i resultaterne. Der er stadigvæk nogle usikkerheder forbundet med beregningerne, hvilket betyder, at vi ikke mener, at tidspunktet er rigtigt til at inkludere fastlagte kravværdier baseret på LCA på bygninger. Derimod kan der i eventuelle frivillige krav i en overgangsperiode stilles krav om udførelse af LCA på bygninger efter en fastlagt metode, som kan være med til at danne det nødvendige datagrundlag for senere fastlæggelse af kravværdier.

## Udformning af krav på sigt

Når der på sigt eventuelt skal stilles fastlagte kravværdier til bygningers ressource- og miljøbelastning over bygningens livscyklus, er spørgsmålet, om disse krav bør kobles sammen med de nuværende energikrav til bygningers driftsenergi, eller om de bør stilles separat.

Beregninger på bygningens livscyklus viser, at der ligger et stort potentiale for reduktion af bygningers ressource- og miljøbelastning i bygningernes materialeforbrug (dvs. indlejrede påvirkninger), hvilket betyder, at der ved fornuftige valg af bygningers udformning og materialer i designfasen kan opnås betydelige reduktioner. Fordelen ved at gå over til én samlet ramme for energi er, at der kommer fokus på hele bygningens livscyklus. Omvendt ligger risikoen ved dette i, at det vil medføre en svækkelse af kravene til driftsenergiforbruget.

Det vil være relevant at tage stilling til, om krav skal stilles som opgørelse af primærenergi, drivhusgasser eller samtlige påvirkninger, hvis der skal stilles krav til de indlejrede påvirkninger.

Hvis der stilles krav om en samlet ramme for indlejret energi, drivhusgasser og eventuelt andre miljøpåvirkninger i bygninger, så er det dog vigtigt at være opmærksom på, at dette krav skal harmoniseres med Bygningsdirektivets minimumskrav til energiforbrug.

Bygningsdirektivet (EPBD) fokuserer på driftsenergi, hvilket kan være en udfordring i forhold til at stille krav om opgørelse af en fælles ramme for driftsenergi og byggematerialer i andet end primærenergi. Et krav til en samlet ramme skal indeholde et maksimalt tilladeligt energiforbrug i bygningen, for at Bygningsdirektivet opfyldes. Der er mulighed for, at dette krav kan ligge højere end de nuværende krav i BR2015 og BR2020, hvilket vil kunne give en vis udvidet fleksibilitet i design af bygninger set i forhold til det nuværende bygningsreglement. At slække på disse krav kan dog have indvirkning på implementeringen af EPBD'er og de nationale politiske energiaftaler.

Omvendt giver krav om opgørelse af udelukkende den indlejrede primære energi ikke nødvendigvis det mest klimavenlige byggeri, idet fx træ betragtes som indeholdende en potentiel energimængde i form af dets brændværdi.

Det bør diskuteres, om et krav om opgørelse af den indlejrede ikke-vedvarende primære energi kan give et bedre billede.

Der ikke noget, der forhindrer, at der stilles krav om opgørelse af alle miljøpåvirkninger. Et krav herom kan derimod være med til at frembringe viden, som i fremtiden kan anvendes til at sætte kravværdier, men resultater fra flere miljøpåvirkninger kan være sværere at kommunikere.

Mange LCA-vurderinger bliver i dag lavet som et led i certificering af byggeri. Disse vurderinger laves ofte på bagkant eller sent i processen, hvor det kan være svært at implementere mere bæredygtige løsninger. Et lovkrav bør stræbe efter, at LCA-vurderingen bliver indarbejdet allerede i designfasen, hvor vurderingens resultater kan have større indvirkning på byggeriet. Det forventes dog, at kendskab til og udbredelse af LCA generelt kan føre til, at det netop også udføres tidligere i processen, hvor det kan få betydning for fx materialevalg.

Der kan stilles krav om, at der skal laves analyser på forskellige konstruktioner og argumenteres for valg for at sikre LCA tidligere i processen, men det vil være nemt at indsætte et "worst case" scenario i ens sammenligning og dermed altid få en vurdering til at se bedre ud end alternativet. En anden mulighed kan også være, at der, som i Holland, skal argumenteres for, hvordan man har valgt at løse ens byggeri mere bæredygtigt, men vurderingen af disse argumenter kan være administrativt svær at håndtere. Men løsningen kan måske i sig selv have en effekt.

# Referencer

Birgisdóttir, H., Mortensen, L. H., Hansen, K. og Aggerholm, S. (2013). Kortlægning af bæredygtigt byggeri, SBI rapport 2013:09, SBI forlag, 2013.

Birgisdóttir, H. og Rasmussen, F.N. (2015). Introduktion til LCA på bygninger. Energistyrelsen, 1 udgave april 2015.

Birgisdóttir, H. og Rasmussen, F.N. (2016). Technical systems' share of embodied energy in Danish building LCA cases. CLIMA 2016 - Proceedings of the 12th REHVA World Congress , paper #377. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering, maj 2016.

Birgisdóttir, H., Hoilhan-Wiberg, A., Malmqvist, T., Moncaster, A. og Rasmussen, F.N. (2016). Evaluation of Embodied energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction (Annex 57). Subtask 4 report: Recommendations for the reduction of embodied greenhouse gasses and embodied energy from buildings. International Energy Agency, færdig udgave til publicering, 2016.

COWI (2016). Nye emissionsfaktorer for el og fjernvarme, Trafik- og Byggestyrelsen, 2016

Danmarks statistik, 2016. Statistikbanken. Den samlede byggeaktivitet (ikke korrigeret for forsinkelser) efter byggefase, område, anvendelse og tid for perioden 2006-2015.

Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003", Official Journal of the European Union – EU Directive establishing EU ETS, 2003.

EN 15804:2012. Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg. Miljøvaredeklarerationer. Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer.

EN 15978:2011. Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg. Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet. Beregningsmetode.

Energistatistik 2015. Energistyrelsen, <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/maanedlig-og-aarlig-energistatistik>

Energistyrelsen (2014). Fra Strategi for energirenovering af bygninger. Vejen til energieffektive bygninger i fremtidens Danmark. Klima-, energi- og bygningsministeriet.

Europa-Kommissionen (2011). Meddelelse fra kommissionen til Europa-Parlamentet, rådet, det Europæiske økonomiske og sociale udvalg og regionsudvalget. Køreplan til et ressourceeffektivt Europa, COM(2011) 571 endelig, 2011.

Europa-Kommissionen (2016). Proposal for a directive of the European parliament and the council amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, COM(2016) 765 final, 2016

Europa-Parlamentet (2011). Byggevareforordningen (CPR) Om fastlæggelse af harmoniserede betingelser for markedsføring af byggevarer og om ophævelse af Rådets direktiv 89/106/EØF. EU Forordning nr. 305/2011.

DK-GBC, 2016. Oversigt over LCA-resultater fra DGNB certificerede projekter. Materiale udleveret fra Green Building Council Denmark, 2016.

Lasvaux, S., Habert, G., Peuportier, B. og Chevalier, J. (2015). Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 20, Issue 11, pp 1473–1490, November 2015.

Lützkendorf, T. og Balouktsi, M. (2016). Evaluation of Embodied energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction (Annex 57). Subtask 1 report: Basics, Actors and Concepts. International Energy Agency, færdig udgave til publicering, 2016.

Rasmussen, F. N. & Birgisdottir, H. (2013). Livscyklusvurdering af MiniCO<sub>2</sub>-husene i Nyborg. Realdania Byg, 2013.



# Bilag 1 Beregningseksempler

## Parcel mur

Huset er et typisk, nyt 1-plans skalmuret længehus med tegltag. Husets bærende elementer er af beton. Loftet er af fyrretræsbrædder, og gulve er af træ og klinker. Byggeriet er opvarmet med fjernvarme. Huset opfylder lavenergiklasse 2015 i BR 2010.

Beregningen er for en teoretisk case. Beregningerne er udført som en forsimplet beregning i forhold til øvrige cases, som er reelle cases, hvor datagrundlaget har været mere detaljeret.

### Inddata

Bygningstype: Parcelhus

Nettoareal: 150 m<sup>2</sup>

Bruttoareal: 150 m<sup>2</sup>

Beregningsens startår: 2015

Betragtningsperiode: 120 år

Energiforbrug, el: 2,6 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug, varme: 37,1 kWh/m<sup>2</sup> år

### Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	Levetid
Fundament i beton	Bygningsdel	52 m	23.969,92 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevarer	9,1 m <sup>3</sup>	21.840,00 kg	120 år
→ Termoblok - vanger	Byggevarer	4,16 m <sup>3</sup>	1.963,52 kg	120 år
→ Termoblok - isolering	Byggevarer	5,2 m <sup>3</sup>	166,40 kg	120 år
Terræn	Bygningsdel	137 m <sup>2</sup>	108.295,07 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevarer	13,7 m <sup>3</sup>	32.880,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	548 kg	548,00 kg	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	47,95 m <sup>3</sup>	887,07 kg	120 år
→ Kapillarbrydende lag (Singels 2-15 mm)	Byggevarer	41,1 m <sup>3</sup>	73.980,00 kg	120 år
Ydervæg	Bygningsdel	90 m <sup>2</sup>	22.942,69 kg	-
→ Porebeton 472 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	9 m <sup>3</sup>	4.248,00 kg	120 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	17,55 m <sup>3</sup>	460,69 kg	120 år
→ Facadetegl	Byggevarer	8,37 m <sup>3</sup>	15.066,00 kg	120 år
→ Mørtel	Byggevarer	1,98 m <sup>3</sup>	3.168,00 kg	60 år
Maling	Bygningsdel	90 kg	90,00 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevarer	90 kg	90,00 kg	15 år
Skillevæg andre	Bygningsdel	60 m <sup>2</sup>	2.507,26 kg	-
→ Gipsplade	Byggevarer	240 m <sup>2</sup>	2.040,00 kg	60 år
→ Konstruktionstræ (stolper og regler)	Byggevarer	0,66 m <sup>3</sup>	349,14 kg	60 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	4,5 m <sup>3</sup>	118,12 kg	60 år
Skillevæg bad	Bygningsdel	52 m <sup>2</sup>	1.482,00 kg	-
→ Porebeton 380 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	3,9 m <sup>3</sup>	1.482,00 kg	60 år
Tagkonstruktion	Bygningsdel	170 m <sup>2</sup>	8.051,37 kg	-
→ Konstruktionstræ	Byggevarer	2,55 m <sup>3</sup>	1.348,95 kg	120 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	50,15 m <sup>3</sup>	1.504,50 kg	120 år
→ Tagsten i tegl	Byggevarer	5.100 kg	5.100,00 kg	60 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	0,07 m <sup>3</sup>	63,92 kg	120 år

→ Undertag, EPDM folie	Byggevarer	34 kg	34,00 kg	60 år
Vinduer	Bygningsdel	30 m <sup>2</sup>	975,00 kg	-
→ Vinduesprofil, træ	Byggevarer	210 kg	210,00 kg	40 år
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	45 kg	45,00 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	36 m <sup>2</sup>	720,00 kg	20 år
Klinkegulv	Bygningsdel	35 m <sup>2</sup>	472,50 kg	-
→ Klinker	Byggevarer	0,18 m <sup>3</sup>	350,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	122,5 kg	122,50 kg	30 år
Trægulv	Bygningsdel	100 m <sup>2</sup>	650,00 kg	-
→ Trælaminat	Byggevarer	100 m <sup>2</sup>	650,00 kg	30 år
lofter	Bygningsdel	150 m <sup>2</sup>	823,50 kg	-
→ Fyrretræsbrædder	Byggevarer	1,5 m <sup>3</sup>	823,50 kg	120 år
Fjernvarmeveksler	Bygningsdel	1 stk.	5,77 kg	-
→ Fjernvarmeveksler, 5 kW	Byggevarer	5 kg	5,00 kg	30 år
→ Isolering XPS	Byggevarer	0,02 m <sup>3</sup>	0,77 kg	30 år
Cirkulationspumpe	Bygningsdel	1 stk.	2,47 kg	-
→ Cirkulationspumpe, < 50 W	Byggevarer	1 stk.	2,47 kg	30 år
Varmvandsbeholder	Bygningsdel	1 stk.	91,40 kg	-
→ Varmvandsbeholder	Byggevarer	85 kg	85,00 kg	30 år
→ Isolering XPS	Byggevarer	0,2 m <sup>3</sup>	6,40 kg	30 år
Gulvvarme	Bygningsdel	150 m	285,00 kg	-
→ Gulvvarmeslange, PEX, 100 mm afstand	Byggevarer	150 m <sup>2</sup>	285,00 kg	40 år
Ventilationsaggregat	Bygningsdel	1 stk.	43,00 kg	-
→ Ventilationsaggregat 5.000 m <sup>3</sup> /h	Byggevarer	1 stk.	43,00 kg	30 år

## Resultater

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	2,625	0,203 x 10 <sup>-9</sup>	0,834 x 10 <sup>-2</sup>	0,009	0,002	0,198 x 10 <sup>-2</sup>	24,003	17,248	0,243
Bygning(B)	3,718	0,008 x 10 <sup>-6</sup>	0,002	0,010	0,001	0,066 x 10 <sup>-3</sup>	24,398	18,924	0,482
Sum	6,343	0,008 x 10 <sup>-6</sup>	0,003	0,019	0,003	0,264 x 10 <sup>-3</sup>	48,402	36,171	0,724

### HOVEDRESULTATER - BYGNING

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbasis (B)	0,850	0,002 x 10 <sup>-6</sup>	0,001	0,001	0,188 x 10 <sup>-3</sup>	0,733 x 10 <sup>-6</sup>	5,628	2,576	0,201
Primære bygningsdele (P)	1,676	0,001 x 10 <sup>-6</sup>	0,402 x 10 <sup>-3</sup>	0,004	0,497 x 10 <sup>-2</sup>	0,050 x 10 <sup>-2</sup>	10,313	6,792	0,273
Komplettering (K)	0,692	0,003 x 10 <sup>-6</sup>	0,484 x 10 <sup>-3</sup>	0,004	0,556 x 10 <sup>-3</sup>	0,005 x 10 <sup>-2</sup>	6,464	7,344	0,009
Installationer (I)	0,500	0,001 x 10 <sup>-6</sup>	0,174 x 10 <sup>-3</sup>	0,879 x 10 <sup>-3</sup>	0,081 x 10 <sup>-3</sup>	0,009 x 10 <sup>-3</sup>	1,993	2,211	-0,002

## Etage-tung

Bygningen er et tungt etagebyggeri med 3 etager plus kælder. Facaden er udført som skalmur i teglsten. Konstruktivt er bygningen opbygget med hul-dæk og bærende skillevægge i beton. Indervægge er primært gipsvægge. Lofter er udført som nedhængte gipslofter, og gulve er af trælaminaat og klin-ker. Taget er udført som spærkonstruktion med tegl. Byggeriet er opvarmet med fjernvarme.

Beregningen er for en teoretisk case. Beregningerne er udført som en for-simplet beregning i forhold til øvrige cases, som er reelle cases, hvor data-grundlaget har været mere detaljeret.

### Inddata

Bygningstype: Etagebyggeri

Nettoareal: 1.400 m<sup>2</sup>

Bruttoareal: 1.400 m<sup>2</sup>

Beregnings start år: 2015

Betragtningsperiode: 120 år

Energiforbrug, el: 3,4 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug, varme: 30,4 kWh/m<sup>2</sup> år

### Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	Levetid
Fundament	Bygningsdel	160 m	96.480,00 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevare	40 m <sup>3</sup>	96.000,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	480 kg	480,00 kg	120 år
Kældergulv	Bygningsdel	342,7 m <sup>2</sup>	91.596,79 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevare	32,9 m <sup>3</sup>	78.958,08 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	10.692,24 kg	10.692,24 kg	120 år
→ Dampspærre, PE	Byggevare	1,71 m <sup>3</sup>	44,48 kg	120 år
→ PUR isolering (EPS)	Byggevare	102,81 m <sup>3</sup>	1.901,98 kg	120 år
Kælder ydervægge	Bygningsdel	245,3 kg	239.658,10 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevare	98,12 m <sup>3</sup>	235.488,00 kg	120 år
→ Mineraluld, terræn	Byggevare	49,06 m <sup>3</sup>	4.170,10 kg	120 år
Ydervægge	Bygningsdel	492,6 m <sup>2</sup>	232.599,56 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevare	47,29 m <sup>3</sup>	113.495,04 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	19.211,4 kg	19.211,40 kg	120 år
→ Mineraluld, facadesy-stem	Byggevare	93,59 m <sup>3</sup>	4.328,72 kg	120 år
→ Facadetegl	Byggevare	44,33 m <sup>3</sup>	79.801,20 kg	120 år
→ Mørtel	Byggevare	9,85 m <sup>3</sup>	15.763,20 kg	60 år
Loft overflader, maling	Bygningsdel	372 kg	372,00 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevare	372 kg	372,00 kg	15 år
Vægoverflader maling	Bygningsdel	621 kg	621,00 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevare	621 kg	621,00 kg	15 år
Ikke bærende skillevægge	Bygningsdel	465,2 m <sup>2</sup>	17.644,45 kg	-
→ Gipsplade	Byggevare	1.860,8 m <sup>2</sup>	15.816,80 kg	60 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevare	911,79 kg	911,79 kg	60 år
→ Mineraluld, alm	Byggevare	34,89 m <sup>3</sup>	915,86 kg	60 år
Bærende skillevægge	Bygningsdel	758,8 m <sup>2</sup>	308.679,84 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevare	113,82 m <sup>3</sup>	273.168,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	35.511,84 kg	35.511,84 kg	120 år
Tagdæk	Bygningsdel	342,7 m <sup>2</sup>	112.062,90 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevare	41,12 m <sup>3</sup>	98.697,60 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	13.365,3 kg	13.365,30 kg	120 år

Etage-og kælderdek	Bygningsdel	1.028,2 m <sup>2</sup>	336.221,40 kg	-
→ Beton C25/30	Byggevarer	123,38 m <sup>3</sup>	296.121,60 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	40.099,8 kg	40.099,80 kg	120 år
Tag	Bygningsdel	458,3 m <sup>2</sup>	11.921,30 kg	-
→ Konstruktionstræ	Byggevarer	8,71 m <sup>3</sup>	4.606,37 kg	120 år
→ Konstruktionstræ (stolper og regler)	Byggevarer	4,12 m <sup>3</sup>	2.181,97 kg	60 år
→ Tagsten i tegl	Byggevarer	114,58 kg	114,58 kg	60 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	167,28 m <sup>3</sup>	5.018,39 kg	120 år
Vinduer	Bygningsdel	243,3 m <sup>2</sup>	7.907,25 kg	-
→ Vinduesprofil, træ	Byggevarer	1.703,1 kg	1.703,10 kg	40 år
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	364,95 kg	364,95 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	291,96 m <sup>2</sup>	5.839,20 kg	20 år
Gulv	Bygningsdel	976,1 m <sup>2</sup>	6.344,65 kg	-
→ Trælaminat	Byggevarer	976,1 m <sup>2</sup>	6.344,65 kg	30 år
Klinkegulv	Bygningsdel	325,4 m <sup>2</sup>	4.392,90 kg	-
→ Klinker	Byggevarer	1,63 m <sup>3</sup>	3.254,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	1.138,9 kg	1.138,90 kg	30 år
lofter	Bygningsdel	1.301,5 m <sup>2</sup>	5.661,53 kg	-
→ Lyddæmpende loft, trykfast mineraluld	Byggevarer	39,05 m <sup>3</sup>	5.661,53 kg	30 år

## Resultater

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	Petot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	2,213	0,169 x 10 <sup>-9</sup>	0,839 x 10 <sup>-3</sup>	0,008	0,002	0,162 x 10 <sup>-3</sup>	20,278	15,738	0,285
Bygning(B)	2,847	0,007 x 10 <sup>-6</sup>	0,001	0,009	0,001	0,015 x 10 <sup>-3</sup>	16,558	13,931	0,491
Sum	5,061	0,008 x 10 <sup>-6</sup>	0,002	0,017	0,003	0,178 x 10 <sup>-3</sup>	36,836	29,669	0,777

### HOVEDRESULTATER – BYGNING

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	Petot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbasis (B)	0,216	0,641 x 10 <sup>-9</sup>	0,313 x 10 <sup>-3</sup>	0,343 x 10 <sup>-3</sup>	0,042 x 10 <sup>-3</sup>	0,003 x 10 <sup>-3</sup>	1,204	0,632	0,059
Primære bygningsdele (P)	1,834	0,004 x 10 <sup>-6</sup>	0,439 x 10 <sup>-3</sup>	0,004	0,501 x 10 <sup>-3</sup>	0,007 x 10 <sup>-3</sup>	8,141	6,235	0,412
Komplettering (K)	0,798	0,003 x 10 <sup>-6</sup>	0,503 x 10 <sup>-3</sup>	0,004	0,601 x 10 <sup>-3</sup>	0,005 x 10 <sup>-3</sup>	7,213	7,063	0,020
Installationer (I)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Etage-træ

Byggeriet er udført som 6 lette etagerækkehuse med i alt 40 boliger. Fundamenter af beton og letklinketbeton. Bygningens facadeelementer af papiruldsisoleret sandwichkonstruktion af massivtræ. Konstruktivt er bygningen opbygget med træ/beton-kompositdæk og et søjle-/bjælke-system i massivt træ. Skillevægge af massivtræ. Lofter er af brandgips, og gulve er primært plankegulve. Bygningen skal ikke males eller overfladebehandles. Taget er udført som skråt tagpaptag. Bygningen er primært isoleret med papiruldsgranulat. Byggeriet er opvarmet med fjernvarme.

Beregningen er udført for en opført bygning. Beregningen er udført ud fra et datagrundlag med mellem detaljeringsgrad.

### Inddata

Bygningstype: Bolig-rækkehus

Netto etageareal: 4.000 m<sup>2</sup>

Brutto etageareal: 4.000 m<sup>2</sup>

Beregningens start år: 2015

Betragtningsperiode: 120 år

Energiforbrug, el: 3 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug, varme: 25 kWh/m<sup>2</sup> år

### Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	LCAByg levetid	SBi levetid
Fundamenter	Bygningsdel	1 stk.	459.240,00 kg	-	-
→ Beton C25/30	Byggevarer	179 m <sup>3</sup>	429.600,00 kg	120 år	120 år
→ Porebeton 380 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	78 m <sup>3</sup>	29.640,00 kg	120 år	120 år
Terrændæk	Bygningsdel	985 m <sup>2</sup>	375.894,12 kg	-	-
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	4,92 m <sup>3</sup>	127,85 kg	120 år	80 år
→ Krydsfinér	Byggevarer	21,67 m <sup>3</sup>	10.618,30 kg	120 år	80 år
→ Konstruktions-træ	Byggevarer	3,35 m <sup>3</sup>	1.771,62 kg	120 år	80 år
→ Beton C25/30	Byggevarer	147,75 m <sup>3</sup>	354.600,00 kg	120 år	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	354,6 m <sup>3</sup>	6.560,10 kg	120 år	50 år
→ Papiruld	Byggevarer	49,25 m <sup>3</sup>	2.216,25 kg	120 år	50 år
Ydervægge	Bygningsdel	1.844 m <sup>2</sup>	114.008,99 kg	-	-
→ Fyrretræsbrædder	Byggevarer	46,1 m <sup>3</sup>	25.308,90 kg	30 år	50 år
→ Aluminiumsprofil	Byggevarer	278,44 kg	278,44 kg	60 år	120 år
→ Konstruktions-træ	Byggevarer	53,48 m <sup>3</sup>	28.288,80 kg	60 år	120 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	3,69 m <sup>3</sup>	239,72 kg	60 år	60 år
→ Papiruld	Byggevarer	479,44 m <sup>3</sup>	21.574,80 kg	60 år	60 år
→ Krydsfinér kopi 1	Byggevarer	40,57 m <sup>3</sup>	19.878,32 kg	60 år	60 år
→ Vindgips kopi 1	Byggevarer	1.844 m <sup>2</sup>	18.440,00 kg	60 år	60 år
Indervæg 1	Bygningsdel	1.635 m <sup>2</sup>	17.298,30 kg	-	-
→ Konstruktions-træ	Byggevarer	32,7 m <sup>3</sup>	17.298,30 kg	60 år	100 år
Indervæg 2	Bygningsdel	569 m <sup>2</sup>	21.622,00 kg	-	-

→ Porebeton 380 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	56,9 m <sup>3</sup>	21.622,00 kg	60 år	100 år
Indvendige vægoverflader	Bygningsdel	569 m <sup>2</sup>	13.542,20 kg	-	-
→ Klinker	Byggevarer	5,69 m <sup>3</sup>	11.380,00 kg	30 år	80 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	2.162,2 kg	2.162,20 kg	30 år	80 år
Dæk	Bygningsdel	2.209 m <sup>2</sup>	651.006,77 kg	-	-
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	11,04 m <sup>3</sup>	286,73 kg	120 år	100 år
→ Trælaminat	Byggevarer	2.209 m <sup>2</sup>	14.358,50 kg	120 år	100 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	103,82 m <sup>3</sup>	2.725,35 kg	120 år	80 år
→ Konstruktions-træ	Byggevarer	313,68 m <sup>3</sup>	165.935,66 kg	120 år	100 år
→ Beton C25/30	Byggevarer	176,06 m <sup>3</sup>	422.537,52 kg	120 år	120 år
→ Cementspån-plade	Byggevarer	66,27 m <sup>3</sup>	45.163,00 kg	120 år	120 år
Trapper og ramper	Bygningsdel	1 stk.	3.508,00 kg	-	-
→ Stålprofil	Byggevarer	2.603 kg	2.603,00 kg	50 år	100 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevarer	905 kg	905,00 kg	50 år	120 år
Bærende søjler og bjælker	Bygningsdel	1 stk.	62.390,00 kg	-	-
→ Stålprofil	Byggevarer	7.903 kg	7.903,00 kg	120 år	120 år
→ Konstruktions-træ	Byggevarer	103 m <sup>3</sup>	54.487,00 kg	120 år	120 år
Tage	Bygningsdel	1.812 m <sup>2</sup>	172.818,59 kg	-	-
→ Bitumen til vandtætning	Byggevarer	11.234,4 kg	11.234,40 kg	40 år	20 år
→ Krydsfinér	Byggevarer	32,62 m <sup>3</sup>	15.981,84 kg	120 år	120 år
→ Konstruktions-træ	Byggevarer	163,08 m <sup>3</sup>	86.269,32 kg	120 år	120 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	3,62 m <sup>3</sup>	94,22 kg	120 år	120 år
→ Cementspån-plade	Byggevarer	54,36 m <sup>3</sup>	37.046,34 kg	120 år	120 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	565,34 m <sup>3</sup>	16.960,32 kg	120 år	50 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	199,32 m <sup>3</sup>	5.232,15 kg	120 år	50 år
Vinduer	Bygningsdel	859 m <sup>2</sup>	17.996,05 kg	-	-
→ Vinduesprofil, træ	Byggevarer	816,05 kg	816,05 kg	40 år	60 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	859 m <sup>2</sup>	17.180,00 kg	20 år	50 år
Gulve, fliser	Bygningsdel	29,8 m <sup>2</sup>	709,24 kg	-	-
→ Klinker	Byggevarer	0,3 m <sup>3</sup>	596,00 kg	30 år	50 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	113,24 kg	113,24 kg	30 år	-
Gulve, terrændæk	Bygningsdel	985 m <sup>2</sup>	6.402,50 kg	-	100 år
→ Trælaminat	Byggevarer	985 m <sup>2</sup>	6.402,50 kg	30 år	100 år
Gulve, dæk, overflader i træ	Bygningsdel	1,8 m <sup>2</sup>	17,35 kg	-	-
→ Træ (gran)	Byggevarer	0,04 m <sup>3</sup>	17,35 kg	30 år	50 år
Gulve, dæk	Bygningsdel	2.209 m <sup>2</sup>	14.358,50 kg	-	-
→ Trælaminat	Byggevarer	2.209 m <sup>2</sup>	14.358,50 kg	30 år	50 år
Varme	Bygningsdel	40 stk.	98,80 kg	-	-
→ Cirkulationspumpe, < 50 W	Byggevarer	40 stk.	98,80 kg	30 år	30 år
Ventilation	Bygningsdel	40 stk.	1.720,00 kg	-	-

→ Ventilationsanlæg 200m <sup>3</sup> /h	Byggevere	40 stk.	1.720,00 kg	30 år	25 år
--	-----------	---------	-------------	-------	-------

## Resultater

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT ved LCAbyg levetider

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	1,830	0,140 x 10 <sup>-9</sup>	0,715 x 10 <sup>-3</sup>	0,007	0,001	0,133 x 10 <sup>-3</sup>	16,774	13,201	0,249
Bygning(B)	1,814	0,005 x 10 <sup>-6</sup>	0,009	0,007	0,001	0,055 x 10 <sup>-3</sup>	16,475	20,752	0,179
Sum	3,644	0,005 x 10 <sup>-6</sup>	0,009	0,014	0,002	0,189 x 10 <sup>-3</sup>	33,248	33,952	0,428

### HOVEDRESULTATER - BYGNING ved LCAbyg levetider

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbæsis (B)	0,273	0,733 x 10 <sup>-9</sup>	0,391 x 10 <sup>-3</sup>	0,452 x 10 <sup>-3</sup>	0,065 x 10 <sup>-3</sup>	0,004 x 10 <sup>-3</sup>	1,706	0,891	0,105
Primære bygningsele (P)	0,949	0,003 x 10 <sup>-6</sup>	0,008	0,004	0,491 x 10 <sup>-3</sup>	0,038 x 10 <sup>-3</sup>	11,788	14,116	0,075
Komplettering (K)	0,504	0,969 x 10 <sup>-9</sup>	0,238 x 10 <sup>-3</sup>	0,003	0,439 x 10 <sup>-3</sup>	0,003 x 10 <sup>-3</sup>	2,694	5,377	0,785 x 10 <sup>-3</sup>
Installationer (I)	0,088	0,650 x 10 <sup>-9</sup>	0,033 x 10 <sup>-3</sup>	0,398 x 10 <sup>-3</sup>	0,024 x 10 <sup>-3</sup>	0,010 x 10 <sup>-3</sup>	0,286	0,368	-0,001

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT ved Sbi levetider

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	1,830	0,140 x 10 <sup>-9</sup>	0,715 x 10 <sup>-3</sup>	0,007	0,001	0,133 x 10 <sup>-3</sup>	16,774	13,201	0,249
Bygning(B)	1,943	0,005 x 10 <sup>-6</sup>	0,017	0,007	0,952 x 10 <sup>-3</sup>	0,059 x 10 <sup>-3</sup>	22,693	22,211	0,184
Sum	3,773	0,005 x 10 <sup>-6</sup>	0,018	0,014	0,002	0,192 x 10 <sup>-3</sup>	39,467	35,412	0,432

### HOVEDRESULTATER - BYGNING ved Sbi levetider

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbæsis (B)	0,445	0,001 x 10 <sup>-6</sup>	0,001	0,728 x 10 <sup>-3</sup>	0,095 x 10 <sup>-3</sup>	0,009 x 10 <sup>-3</sup>	4,180	1,836	0,105
Primære bygningsele (P)	1,238	0,003 x 10 <sup>-6</sup>	0,016	0,005	0,658 x 10 <sup>-3</sup>	0,047 x 10 <sup>-3</sup>	16,476	18,113	0,079
Komplettering (K)	0,250	0,341 x 10 <sup>-9</sup>	0,089 x 10 <sup>-3</sup>	0,001	0,196 x 10 <sup>-3</sup>	0,001 x 10 <sup>-3</sup>	2,006	2,224	0,333 x 10 <sup>-3</sup>
Installationer (I)	0,009	0,073 x 10 <sup>-9</sup>	0,003 x 10 <sup>-3</sup>	0,042 x 10 <sup>-3</sup>	0,003 x 10 <sup>-3</sup>	0,002 x 10 <sup>-3</sup>	0,031	0,038	-0,100 x 10 <sup>-3</sup>

## Kontor-let 1

Bygningen er et kontorbyggeri med 4 etager med kælder. Bygningsfacader består af en let facade i stål med vinduesbånd. Ud for trapperummet er der glas i alle felter. Konstruktivt er bygningen opbygget med huldæk og et søjle-/bjælke-system i beton. Galvpartier er opført i tegl. Taget er udført som fladt tagpaptag. Byggeriet er opvarmet med fjernvarme.

Beregningen er for en teoretisk case. Beregningerne er udført som en forsimplet beregning i forhold til øvrige cases, som er reelle cases og hvor datagrundlaget dermed har været mere detaljeret.

### Inddatering

Bygningstype: Kontor

Netto etageareal: 3.300 m<sup>2</sup>

Brutto etageareal: 4.157 m<sup>2</sup>

Beregningens start år: 2015

Betragtningsperiode: 80 år

Energiforbrug, el: 8,9 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug, varme: 23,8 kWh/m<sup>2</sup> år

### Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	Levetid
Linjefundament	Bygningsdel	134 m	80.802,00 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevarer	33,5 m <sup>3</sup>	80.400,00 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	402 kg	402,00 kg	100 år
Kældervæg 1	Bygningsdel	330 m <sup>2</sup>	212.635,50 kg	-
→ Bitumen til vandtætning	Byggevarer	165 kg	165,00 kg	100 år
→ Beton C30/37	Byggevarer	85,8 m <sup>3</sup>	205.920,00 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	4.719 kg	4.719,00 kg	100 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	99 m <sup>3</sup>	1.831,50 kg	120 år
Let facade konstruktion	Bygningsdel	624 m <sup>2</sup>	35.827,43 kg	-
→ Stålblade	Byggevarer	0,94 m <sup>3</sup>	7.300,80 kg	30 år
→ Beslag mv, stål	Byggevarer	124,8 kg	124,80 kg	30 år
→ Vindgips	Byggevarer	624 m <sup>2</sup>	6.240,00 kg	30 år
→ Konstruktionstræ (stolper og regler)	Byggevarer	13,1 m <sup>3</sup>	6.932,02 kg	30 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	171,6 m <sup>3</sup>	4.504,50 kg	30 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	0,12 m <sup>3</sup>	117,31 kg	30 år
→ Gipsplade	Byggevarer	1.248 m <sup>2</sup>	10.608,00 kg	30 år
Galvparti1	Bygningsdel	515 m <sup>2</sup>	292.500,69 kg	-
→ Facadetegl	Byggevarer	45,32 m <sup>3</sup>	81.576,00 kg	100 år
→ Mørtel	Byggevarer	10,3 m <sup>3</sup>	16.480,00 kg	60 år
→ Mineraluld, facadesystem	Byggevarer	128,75 m <sup>3</sup>	5.954,69 kg	100 år
→ Beton C30/37	Byggevarer	77,25 m <sup>3</sup>	185.400,00 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	3.090 kg	3.090,00 kg	100 år
Indervæg	Bygningsdel	616 m <sup>2</sup>	25.741,25 kg	-
→ Gipsplade	Byggevarer	2.464 m <sup>2</sup>	20.944,00 kg	30 år
→ Konstruktionstræ (stolper og regler)	Byggevarer	6,78 m <sup>3</sup>	3.584,50 kg	30 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	46,2 m <sup>3</sup>	1.212,75 kg	30 år
Etagedæk1	Bygningsdel	3.326 m <sup>2</sup>	1.406.565,40 kg	-
→ Betonhuldæk (C45/55)	Byggevarer	578,72 m <sup>3</sup>	1.388.937,60 kg	100 år



→ Armeringsstål	Byggevare	17.627,8 kg	17.627,80 kg	100 år
Trapper	Bygningsdel	8 stk.	15.720,00 kg	-
→ Betontrappe	Byggevare	8 stk.	15.720,00 kg	100 år
Betonsøjler	Bygningsdel	336 m	72.777,60 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevare	29,57 m <sup>3</sup>	70.963,20 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevare	1.814,4 kg	1.814,40 kg	100 år
Betonbjælker	Bygningsdel	360 m	194.940,00 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevare	79,2 m <sup>3</sup>	190.080,00 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevare	4.860 kg	4.860,00 kg	100 år
tag2	Bygningsdel	832 m <sup>2</sup>	408.345,60 kg	-
→ Betonhuldæk (C45/55)	Byggevare	144,77 m <sup>3</sup>	347.443,20 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevare	3.328 kg	3.328,00 kg	100 år
→ Mineraluld, trykfast	Byggevare	332,8 m <sup>3</sup>	48.256,00 kg	120 år
→ Tagpap base	Byggevare	4.160 kg	4.160,00 kg	40 år
→ Tagpap top, skiferbe-strøet	Byggevare	5.158,4 kg	5.158,40 kg	40 år
vinduer1	Bygningsdel	892 m <sup>2</sup>	28.990,00 kg	-
→ Vinduesprofil, træ	Byggevare	6.244 kg	6.244,00 kg	30 år
→ Vinduesprofil, alu	Byggevare	1.338 kg	1.338,00 kg	30 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevare	1.070,4 m <sup>2</sup>	21.408,00 kg	30 år
Gulv	Bygningsdel	3.326 kg	33.592,60 kg	-
→ Cementslidlag	Byggevare	9,98 m <sup>3</sup>	23.947,20 kg	15 år
→ Linoleum	Byggevare	3.326 m <sup>2</sup>	9.645,40 kg	15 år
Kældergulv 1	Bygningsdel	832 kg	658.444,80 kg	-
→ Kapillarbrydende lag (Singels 2-15 mm)	Byggevare	249,6 m <sup>3</sup>	449.280,00 kg	100 år
→ Beton C30/37	Byggevare	83,2 m <sup>3</sup>	199.680,00 kg	100 år
→ Armeringsstål	Byggevare	3.328 kg	3.328,00 kg	100 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevare	332,8 m <sup>3</sup>	6.156,80 kg	120 år
Loft 2	Bygningsdel	832 kg	2.175,68 kg	-
→ Lyddæpende loft, trykfast mineraluld	Byggevare	12,48 m <sup>3</sup>	1.809,60 kg	30 år
→ Ophængningssystem i stål	Byggevare	366,08 kg	366,08 kg	30 år
Loft	Bygningsdel	3.326 kg	8.564,45 kg	-
→ Lyddæpende loft, trykfast mineraluld	Byggevare	49,89 m <sup>3</sup>	7.234,05 kg	30 år
→ Ophængningssystem i stål	Byggevare	1.330,4 kg	1.330,40 kg	30 år
Fjernvarmeveksler	Bygningsdel	1 stk.	61,60 kg	-
→ Fjernvarmeveksler, 60 kW+C77	Byggevare	60 kg	60,00 kg	30 år
→ Isolering XPS	Byggevare	0,05 m <sup>3</sup>	1,60 kg	30 år
Cirkulationspumpe	Bygningsdel	1 stk.	24,70 kg	-
→ Cirkulationspumpe, 250-1000 W	Byggevare	1 stk.	24,70 kg	30 år
Varmvandsbeholder	Bygningsdel	1 stk.	188,00 kg	-
→ Varmvandsbeholder	Byggevare	140 kg	140,00 kg	30 år
→ Isolering XPS	Byggevare	1,5 m <sup>3</sup>	48,00 kg	30 år
Ventilationsaggregat	Bygningsdel	1 stk.	167,80 kg	-
→ Ventilationsaggregat 30.000 m <sup>3</sup> /h	Byggevare	1 stk.	167,80 kg	30 år

## Resultater

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPI	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	2,269	0,150 x 10 <sup>-9</sup>	0,002	0,011	0,003	0,131 x 10 <sup>-3</sup>	21,195	21,410	0,658
Bygning(B)	4,370	0,012 x 10 <sup>-6</sup>	0,002	0,014	0,002	0,040 x 10 <sup>-3</sup>	25,024	18,508	0,885
Sum	6,639	0,012 x 10 <sup>-6</sup>	0,004	0,025	0,005	0,170 x 10 <sup>-3</sup>	46,219	39,918	1,542

### HOVEDRESULTATER - BYGNING

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPI	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbasis (B)	0,032	0,098 x 10 <sup>-9</sup>	0,006 x 10 <sup>-3</sup>	0,050 x 10 <sup>-3</sup>	0,008 x 10 <sup>-3</sup>	0,057 x 10 <sup>-6</sup>	0,028	0,048	0,019
Primære bygningsdele (P)	2,615	0,005 x 10 <sup>-6</sup>	0,875 x 10 <sup>-3</sup>	0,006	0,774 x 10 <sup>-3</sup>	0,028 x 10 <sup>-3</sup>	9,884	7,497	0,788
Komplettering (K)	1,696	0,007 x 10 <sup>-6</sup>	0,002	0,008	0,002	0,009 x 10 <sup>-3</sup>	15,008	10,852	0,078
Installationer (I)	0,027	0,155 x 10 <sup>-9</sup>	0,011 x 10 <sup>-3</sup>	0,102 x 10 <sup>-3</sup>	0,007 x 10 <sup>-3</sup>	0,002 x 10 <sup>-3</sup>	0,094	0,111	-0,247 x 10 <sup>-3</sup>

## Kontor-let 2

Bygningen er et kontorbyggeri med kælder, stue samt 1.-3. sal. Kælderen er opbygget som sandwich-konstruktion i beton. Bygningsfacader består af en let glas/alu-facade samt curtain-walls. Konstruktivt er bygningen opbygget med huldæk og et søjle-/bjælke-system i beton med bærende betonkerner. Taget er et fladt tagpaptag.

Byggeriet er opvarmet med fjernvarme. Hele byggeriet er mekanisk ventileret. Der er desuden etableret køling, men installationer for dette samt varmeinstallationer er ikke medtaget i beregningen. Der bliver desuden leveret el fra bygningens 525 m<sup>2</sup> solcelleanlæg. Der er i beregningerne taget højde for el leveret fra solcelleanlægget, men selve solcelleanlægget er ikke medtaget i LCA-vurderingen.

Beregningen er udført for en opført bygning. Beregningen er udført ud fra et datagrundlag med stor detaljeringsgrad.

### Inddatering

Bygningstype: Kontor

Netto etageareal: 11.500 m<sup>2</sup>

Brutto etageareal: 12.900 m<sup>2</sup>

Beregningens start år: 2015

Betragtningsperiode: 80 år

Energiforbrug, el: 8 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug, varme: 17 kWh/m<sup>2</sup> år

### Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	Levetid
Fundament, kælder	Bygningsdel	1 stk.	1.621.247,50 kg	-
→ Beton C20/25	Byggevarer	648 m <sup>3</sup>	1.555.200,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	64.808 kg	64.808,00 kg	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	67 m <sup>3</sup>	1.239,50 kg	120 år
Fundament, gårdhave	Bygningsdel	1 stk.	62.986,00 kg	-
→ Beton C20/25	Byggevarer	22 m <sup>3</sup>	52.800,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	2.184 kg	2.184,00 kg	120 år
→ Porebeton 472 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	16 m <sup>3</sup>	7.552,00 kg	120 år
→ Mineralulds isolering	Byggevarer	15 m <sup>3</sup>	450,00 kg	120 år
Fundament, indvendige fundamentklodser	Bygningsdel	1 stk.	387.552,00 kg	-
→ Beton C20/25	Byggevarer	155 m <sup>3</sup>	372.000,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	15.552 kg	15.552,00 kg	120 år
Radonspærre	Bygningsdel	1 stk.	13.416,00 kg	-
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	5,59 m <sup>3</sup>	13.416,00 kg	120 år
Terrændæk, alm. terræn- dæk	Bygningsdel	1 stk.	1.287.487,00 kg	-
→ Kapillarbrydende lag (Singels 2-15 mm)	Byggevarer	335 m <sup>3</sup>	603.000,00 kg	120 år
→ Beton C30/37	Byggevarer	268 m <sup>3</sup>	643.200,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	26.820 kg	26.820,00 kg	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	782 m <sup>3</sup>	14.467,00 kg	120 år
Terrændæk, Arkiv/teknik	Bygningsdel	1 stk.	261.032,00 kg	-
→ Kapillarbrydende lag (Singels 2-15 mm)	Byggevarer	84 m <sup>3</sup>	151.200,00 kg	120 år
→ Isolering XPS	Byggevarer	196 m <sup>3</sup>	5.880,00 kg	120 år
→ Beton C30/37	Byggevarer	38,5 m <sup>3</sup>	92.400,00 kg	120 år

→ Armeringsstål	Byggevarer	11.552 kg	11.552,00 kg	120 år
Ydervægge, Kælderydervægge, 250 E	Bygningsdel	1 stk.	419.612,50 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevarer	166 m <sup>3</sup>	398.400,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	16.606 kg	16.606,00 kg	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	249 m <sup>3</sup>	4.606,50 kg	120 år
Ydervægge, betonsandwichelement	Bygningsdel	1 stk.	374.024,00 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevarer	110 m <sup>3</sup>	264.000,00 kg	120 år
→ Mineralulds isolering 46 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	132 m <sup>3</sup>	6.072,00 kg	120 år
→ Beton C30/37	Byggevarer	38,5 m <sup>3</sup>	92.400,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	11.552 kg	11.552,00 kg	120 år
Blændparti, Glas/Alu-facade	Bygningsdel	2.215 m <sup>2</sup>	99.652,85 kg	-
→ Gipsplade 2	Byggevarer	4.430 m <sup>2</sup>	37.655,00 kg	30 år
→ Mineralulds isolering 46 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	276,88 m <sup>3</sup>	12.736,25 kg	30 år
→ Aluminiums plade	Byggevarer	4,43 m <sup>3</sup>	11.961,00 kg	30 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	443 m <sup>3</sup>	310,10 kg	30 år
→ Mineralulds isolering 46 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	443 m <sup>3</sup>	20.378,00 kg	30 år
→ Glasvæg	Byggevarer	2.215 m <sup>2</sup>	16.612,50 kg	30 år
Indvendigt atrium, blændparti	Bygningsdel	517 m <sup>2</sup>	23.187,45 kg	-
→ Gipsplade 2	Byggevarer	1.034 m <sup>2</sup>	8.789,00 kg	30 år
→ Mineralulds isolering 46 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	64,62 m <sup>3</sup>	2.972,75 kg	30 år
→ Aluminiums plade	Byggevarer	1,03 m <sup>3</sup>	2.791,80 kg	30 år
→ Mineralulds isolering 46 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	103,4 m <sup>3</sup>	4.756,40 kg	30 år
→ Glasvæg	Byggevarer	517 m <sup>2</sup>	3.877,50 kg	30 år
Indervægge, Betonindervægge, 200E	Bygningsdel	1 stk.	1.149.976,00 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevarer	460 m <sup>3</sup>	1.104.000,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	45.976 kg	45.976,00 kg	120 år
Vægoverflader, klinker	Bygningsdel	1 stk.	29.790,00 kg	-
→ Klinker	Byggevarer	13,22 m <sup>3</sup>	26.440,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	3.350 kg	3.350,00 kg	30 år
Indervægge, gittervæg	Bygningsdel	1 stk.	150,00 kg	-
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevarer	150 kg	150,00 kg	30 år
Fodlister	Bygningsdel	1 stk.	1.149,80 kg	-
→ Vinduesprofil, træ	Byggevarer	1.149,8 kg	1.149,80 kg	30 år
Indervægge, Gipsvæg, 120mm	Bygningsdel	3.898 m <sup>2</sup>	172.657,04 kg	-
→ Gipsplade	Byggevarer	15.592 m <sup>2</sup>	132.532,00 kg	30 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevarer	30.404,4 kg	30.404,40 kg	30 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	370,31 m <sup>3</sup>	9.720,64 kg	30 år
Indervægge, Gipsvæg, indgangsparti	Bygningsdel	20 m <sup>2</sup>	836,00 kg	-
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevarer	156 kg	156,00 kg	30 år
→ Gipsplade 2	Byggevarer	80 m <sup>2</sup>	680,00 kg	30 år
Indervægge, glasvægge	Bygningsdel	1 stk.	1.072,50 kg	-
→ Glasvæg	Byggevarer	143 m <sup>2</sup>	1.072,50 kg	30 år
Indervægge, Porebeton	Bygningsdel	16 m <sup>2</sup>	1.510,40 kg	-
→ Porebeton 472 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	3,2 m <sup>3</sup>	1.510,40 kg	30 år

Maling	Bygningsdel	997 kg	997,00 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevare	997 kg	997,00 kg	15 år
Indvendige døre	Bygningsdel	1 stk.	14.257,53 kg	-
→ Indvendige trædøre	Byggevare	25,97 m <sup>3</sup>	14.257,53 kg	30 år
Indervægge, Kælderinder- vægge, 200E	Bygningsdel	1 stk.	1.149.976,00 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevare	460 m <sup>3</sup>	1.104.000,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	45.976 kg	45.976,00 kg	120 år
Indervægge, Gipsvæg, 95 mm	Bygningsdel	902 m <sup>2</sup>	39.479,41 kg	-
→ Gipsplade	Byggevare	3.608 m <sup>2</sup>	30.668,00 kg	30 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevare	7.035,6 kg	7.035,60 kg	30 år
→ Mineraluld, alm	Byggevare	67,65 m <sup>3</sup>	1.775,81 kg	30 år
Dæk 2	Bygningsdel	1 stk.	1.127.057,80 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevare	460,72 m <sup>3</sup>	1.105.728,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	21.329,8 kg	21.329,80 kg	120 år
Dæk 1	Bygningsdel	1 stk.	6.389.516,40 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevare	2.621,34 m <sup>3</sup>	6.291.216,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	98.300,4 kg	98.300,40 kg	120 år
Lydmembran	Bygningsdel	1 stk.	1.756,00 kg	-
→ Dampspærre, PE	Byggevare	0,73 m <sup>3</sup>	1.756,00 kg	120 år
Dæk komplettering, Beton C12/15	Bygningsdel	1 stk.	1.092.000,00 kg	-
→ Beton C12/15	Byggevare	455 m <sup>3</sup>	1.092.000,00 kg	120 år
Dæk, diverse isolering	Bygningsdel	1 stk.	5.434,00 kg	-
→ Mineralulds isolering	Byggevare	209 m <sup>3</sup>	5.434,00 kg	120 år
Betontrapper	Bygningsdel	1 stk.	76.088,74 kg	-
→ Beton C30/37	Byggevare	28,6 m <sup>3</sup>	68.640,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	2.861 kg	2.861,00 kg	120 år
→ Stålprofil	Byggevare	4.313 kg	4.313,00 kg	120 år
→ Træ gelænder	Byggevare	0,57 m <sup>3</sup>	274,74 kg	100 år
Trapper, stål	Bygningsdel	1 stk.	16.088,94 kg	-
→ Stålprofil	Byggevare	14.850 kg	14.850,00 kg	120 år
→ Stålprofil	Byggevare	916 kg	916,00 kg	120 år
→ Træ gelænder	Byggevare	0,1 m <sup>3</sup>	48,20 kg	100 år
→ Træ belægning	Byggevare	0,57 m <sup>3</sup>	274,74 kg	15 år
Betonsøjler	Bygningsdel	1 stk.	273.165,30 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevare	84 m <sup>3</sup>	201.600,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	14.280 kg	14.280,00 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevare	22,29 m <sup>3</sup>	53.496,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	3.789,3 kg	3.789,30 kg	120 år
Betonbjælker C35/45	Bygningsdel	1 stk.	1.007.425,00 kg	-
→ Armeringsstål	Byggevare	66.625 kg	66.625,00 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevare	392 m <sup>3</sup>	940.800,00 kg	120 år
Stålsøjler	Bygningsdel	1 stk.	22.875,00 kg	-
→ Stålprofil	Byggevare	22.875 kg	22.875,00 kg	120 år
Stålbjælker	Bygningsdel	1 stk.	22.897,00 kg	-
→ Stålprofil	Byggevare	22.897 kg	22.897,00 kg	120 år
Tag	Bygningsdel	1 stk.	46.975,70 kg	-
→ Mineraluld, trykfast	Byggevare	62 m <sup>3</sup>	8.990,00 kg	120 år
→ Dampspærre, PE	Byggevare	1 m <sup>3</sup>	320,50 kg	120 år
→ Tagpap base	Byggevare	15.283 kg	15.283,00 kg	40 år
→ EPS 22,7 kg/m <sup>3</sup>	Byggevare	986 m <sup>3</sup>	22.382,20 kg	120 år
Atrium, fast panel	Bygningsdel	1 stk.	5.156,84 kg	-
→ Gipsplade 2	Byggevare	276 m <sup>2</sup>	2.346,00 kg	30 år
→ Aluminiums plade	Byggevare	0,55 m <sup>3</sup>	1.485,00 kg	30 år










→ Dampspærre, PE	Byggevarer	1 m <sup>3</sup>	24,50 kg	40 år
→ Mineralulds isolering 46 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	28,29 m <sup>3</sup>	1.301,34 kg	30 år
Tage, komplettering	Bygningsdel	291 m <sup>2</sup>	9.632,10 kg	-
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	902,1 kg	902,10 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	436,5 m <sup>2</sup>	8.730,00 kg	20 år
Indvendigt atrium	Bygningsdel	478 m <sup>2</sup>	15.917,40 kg	-
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	1.577,4 kg	1.577,40 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	717 m <sup>2</sup>	14.340,00 kg	20 år
Dør, ydervæg	Bygningsdel	35 m <sup>2</sup>	1.277,50 kg	-
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	227,5 kg	227,50 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	52,5 m <sup>2</sup>	1.050,00 kg	20 år
Vinduer, glas/alu facade	Bygningsdel	2.451 m <sup>2</sup>	83.334,00 kg	-
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	9.804 kg	9.804,00 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	3.676,5 m <sup>2</sup>	73.530,00 kg	20 år
Vinduer, Alm. facade	Bygningsdel	255 m <sup>2</sup>	8.670,00 kg	-
→ Vinduesprofil, alu	Byggevarer	1.020 kg	1.020,00 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	382,5 m <sup>2</sup>	7.650,00 kg	20 år
Gulv, kantine	Bygningsdel	1 m <sup>2</sup>	33,80 kg	-
→ Klinker	Byggevarer	0,01 m <sup>3</sup>	30,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	3,8 kg	3,80 kg	30 år
Gulv, klinker	Bygningsdel	415 m <sup>2</sup>	14.027,00 kg	-
→ Klinker	Byggevarer	6,22 m <sup>3</sup>	12.450,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	1.577 kg	1.577,00 kg	30 år
Lydisolering i gulv	Bygningsdel	1 stk.	2.114,84 kg	-
→ Mineralulds isolering	Byggevarer	81,34 m <sup>3</sup>	2.114,84 kg	30 år
Trægulv	Bygningsdel	590 m <sup>2</sup>	3.835,00 kg	-
→ Trælaminat	Byggevarer	590 m <sup>2</sup>	3.835,00 kg	30 år
Beton, C12/15	Bygningsdel	1 stk.	68.808,00 kg	-
→ Beton C12/15	Byggevarer	28,67 m <sup>3</sup>	68.808,00 kg	30 år
Linoleum gulv	Bygningsdel	8.726 m <sup>2</sup>	25.305,40 kg	-
→ Linoleum	Byggevarer	8.726 m <sup>2</sup>	25.305,40 kg	15 år
køkkengulv	Bygningsdel	262 m <sup>2</sup>	759,80 kg	-
→ Linoleum	Byggevarer	262 m <sup>2</sup>	759,80 kg	15 år
Maling, nedhængte lofter	Bygningsdel	1.277 kg	1.277,00 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevarer	1.277 kg	1.277,00 kg	15 år
Nedhængte lofter	Bygningsdel	1 stk.	39.185,00 kg	-
→ Mineralulds isolering	Byggevarer	147 m <sup>3</sup>	3.822,00 kg	30 år
→ Stålprofil	Byggevarer	35.363 kg	35.363,00 kg	30 år
Ventilation 100.00 m <sup>3</sup> /h	Bygningsdel	1 stk.	167,80 kg	-
→ Ventilationsaggregat 30.000 m <sup>3</sup> /h	Byggevarer	1 stk.	167,80 kg	30 år
Ventilation	Bygningsdel	1 stk.	43,00 kg	-
→ Ventilationsaggregat 5.000 m <sup>3</sup> /h	Byggevarer	1 stk.	43,00 kg	30 år

## Resultater

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	PETot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	1,526	0,098 x 10 <sup>-9</sup>	0,001	0,008	0,002	0,083 x 10 <sup>-3</sup>	14,278	15,456	0,517
Bygning(B)	6,848	0,033 x 10 <sup>-6</sup>	0,003	0,021	0,003	0,241 x 10 <sup>-3</sup>	23,768	23,464	1,079
Sum	8,374	0,033 x 10 <sup>-6</sup>	0,004	0,029	0,005	0,323 x 10 <sup>-3</sup>	40,046	38,920	1,596

## HOVEDRESULTATER - BYGNING

	GWP	GDP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbasis (B)	0,617	0,002 × 10 <sup>-6</sup>	0,549 × 10 <sup>-3</sup>	0,001	0,128 × 10 <sup>-3</sup>	0,172 × 10 <sup>-3</sup>	2,641	1,833	0,137
Primære bygningsdele (P)	3,968	0,022 × 10 <sup>-6</sup>	0,002	0,010	0,001	0,055 × 10 <sup>-3</sup>	11,851	11,908	0,918
Komplettering (K)	2,259	0,009 × 10 <sup>-6</sup>	0,693 × 10 <sup>-3</sup>	0,010	0,002	0,013 × 10 <sup>-3</sup>	11,263	9,705	0,005
Installationer (I)	0,004	0,029 × 10 <sup>-9</sup>	0,001 × 10 <sup>-3</sup>	0,018 × 10 <sup>-3</sup>	0,001 × 10 <sup>-3</sup>	0,438 × 10 <sup>-6</sup>	0,013	0,016	-0,055 × 10 <sup>-3</sup>
Fordelt på andel af bygnings samlede resultat									

## Kontor-tung

Bygningen er et tungt kontorbyggeri med 6 etager med parkeringskælder. Facaden er udført som skalmur i teglsten med enkle glas/alu-partier. Konstruktionsmæssigt er etagerne udført søjlefrit. Kontorarealer er udført uden nedhængt loft. Gulve er primært udført som trægulve. Bygningens tag er udført som fladt sedumtag og tagpaptag. Byggeriet er opvarmet med fjernvarme. Bygningen bygges mod en af siderne op mod en anden bygning. I stueetagen ligger der butikker, hvis konstruktioner ikke er medtaget i LCA-vurderingen. Bygningen er udført som lavenergiklasse 2015.

Beregningen er udført for en opført bygning. Beregningen er udført ud fra et datagrundlag med stor detaljeringsgrad.

### Inddatering

Bygningstype: Kontor

Netto etageareal: 6.200 m<sup>2</sup>

Brutto etageareal: 6.200 m<sup>2</sup>

Beregningsens start år: 2015

Betragtningsperiode: 80 år

Energiforbrug - el: 11,5 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug - varme: 21,8 kWh/m<sup>2</sup> år

### Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	Levetid
Fundament, kælder	Bygningsdel	1 stk.	768.872,65 kg	-
→ Beton C20/25	Byggevarer	160 m <sup>3</sup>	384.000,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	6.435,6 kg	6.435,60 kg	120 år
→ Beton C30/37	Byggevarer	157,5 m <sup>3</sup>	378.000,00 kg	120 år
→ Bitumen til vandtætning	Byggevarer	198,4 kg	198,40 kg	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	12,9 m <sup>3</sup>	238,65 kg	120 år
Terrændæk, alm. terrændæk	Bygningsdel	1 stk.	116.356,10 kg	-
→ Armeringsstål	Byggevarer	9.784,9 kg	9.784,90 kg	120 år
→ Isolering XPS	Byggevarer	0,35 m <sup>3</sup>	11,20 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevarer	44,4 m <sup>3</sup>	106.560,00 kg	120 år
Ydervægge k1, beslag	Bygningsdel	1 stk.	191,00 kg	-
→ Aluminiums beslag	Byggevarer	191 kg	191,00 kg	30 år
Ydervæg 3, sokkel	Bygningsdel	1 stk.	15.868,24 kg	-
→ Isolering XPS	Byggevarer	27,2 m <sup>3</sup>	408,00 kg	120 år
→ Porebeton 472 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	13,67 m <sup>3</sup>	6.452,24 kg	120 år
→ Mørtel	Byggevarer	5,63 m <sup>3</sup>	9.008,00 kg	60 år
Ydervæg 4, træ	Bygningsdel	1 stk.	6.044,28 kg	-
→ Træ, gran	Byggevarer	12,54 m <sup>3</sup>	6.044,28 kg	30 år
Ydervægge 1	Bygningsdel	1 stk.	224.061,00 kg	-
→ Bitumen til vandtætning	Byggevarer	1.119,1 kg	1.119,10 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	4.234,8 kg	4.234,80 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevarer	91 m <sup>3</sup>	218.400,00 kg	120 år
→ EPS isolering 18,5kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	16,6 m <sup>3</sup>	307,10 kg	120 år
Ydervæg, 6	Bygningsdel	1 stk.	1.021,07 kg	-
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	15,37 m <sup>3</sup>	461,10 kg	30 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	0,12 m <sup>3</sup>	7,68 kg	30 år
→ Stålblade	Byggevarer	0,07 m <sup>3</sup>	514,80 kg	30 år
→ Gipsplade 2	Byggevarer	4,41 m <sup>2</sup>	37,48 kg	30 år



Vindues kasse	Bygningsdel	1 stk.	13.766,00 kg	-
→ Krydsfinér	Byggevarer	23,25 m <sup>3</sup>	11.392,50 kg	60 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	33 m <sup>3</sup>	990,00 kg	60 år
→ Mineraluld, trykfast	Byggevarer	8 m <sup>3</sup>	1.160,00 kg	60 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	1,5 m <sup>3</sup>	96,00 kg	60 år
→ Gipsplade 2	Byggevarer	15 m <sup>2</sup>	127,50 kg	60 år
Ydervægge 2	Bygningsdel	1 stk.	1.938.847,40 kg	-
→ Glasuld	Byggevarer	649,5 m <sup>3</sup>	19.485,00 kg	120 år
→ Facadetegl	Byggevarer	111,11 m <sup>3</sup>	199.998,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	89.008,5 kg	89.008,50 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevarer	663 m <sup>3</sup>	1.591.200,00 kg	120 år
→ Beslag mv, stål	Byggevarer	755,9 kg	755,90 kg	120 år
→ Mørtel	Byggevarer	32 m <sup>3</sup>	38.400,00 kg	60 år
Ydervæg 5	Bygningsdel	1 stk.	4.549,16 kg	-
→ Træ, gran	Byggevarer	4,7 m <sup>3</sup>	2.265,40 kg	30 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	42 m <sup>3</sup>	1.260,00 kg	30 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	0,59 m <sup>3</sup>	37,76 kg	30 år
→ Gipsplade 2	Byggevarer	116 m <sup>2</sup>	986,00 kg	30 år
Indervægge, Beton C35/45	Bygningsdel	1 stk.	868.800,00 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevarer	362 m <sup>3</sup>	868.800,00 kg	120 år
Indervægge, Maling	Bygningsdel	1 stk.	8.560,20 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevarer	2.836,2 kg	2.836,20 kg	15 år
→ Mørtel	Byggevarer	4,77 m <sup>3</sup>	5.724,00 kg	30 år
Fodlister	Bygningsdel	1 stk.	1.158,40 kg	-
→ Vinduesprofil, træ	Byggevarer	1.158,4 kg	1.158,40 kg	30 år
Indervægge, Porebeton	Bygningsdel	1 stk.	47.624,80 kg	-
→ Porebeton 472 kg/m <sup>3</sup>	Byggevarer	100,9 m <sup>3</sup>	47.624,80 kg	30 år
Indervægge, komplette-ring	Bygningsdel	1 stk.	31.766,49 kg	-
→ Konstruktionstræ	Byggevarer	57,69 m <sup>3</sup>	30.518,01 kg	30 år
→ Træ, gran	Byggevarer	0 m <sup>3</sup>	0,48 kg	30 år
→ Fuge	Byggevarer	122 kg	122,00 kg	30 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevarer	1.126 kg	1.126,00 kg	30 år
Vægoverflader, klinker	Bygningsdel	1 stk.	6.486,00 kg	-
→ Klinker	Byggevarer	3 m <sup>3</sup>	6.000,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevarer	456 kg	456,00 kg	30 år
→ Dampspærre, PE	Byggevarer	0,24 m <sup>3</sup>	30,00 kg	30 år
Indervægge, Gipsvæg	Bygningsdel	1 stk.	79.365,50 kg	-
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevarer	4.584 kg	4.584,00 kg	30 år
→ Gipsplade 2	Byggevarer	6.651,5 m <sup>2</sup>	56.537,75 kg	30 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	695 m <sup>3</sup>	18.243,75 kg	30 år
Indvendige døre	Bygningsdel	1 stk.	8.893,80 kg	-
→ Indvendige trædøre	Byggevarer	16,2 m <sup>3</sup>	8.893,80 kg	30 år
Indervægge, glasvægge	Bygningsdel	1 stk.	10.506,00 kg	-
→ Energirude (2-lags)	Byggevarer	525,3 m <sup>2</sup>	10.506,00 kg	30 år
Indervægge, Fiberce-mentplade	Bygningsdel	1 stk.	4.153,24 kg	-
→ Fibercementplade	Byggevarer	1,59 m <sup>3</sup>	3.816,00 kg	30 år
→ Mineraluld, alm	Byggevarer	5,99 m <sup>3</sup>	157,24 kg	30 år
→ Beslag mv, stål	Byggevarer	180 kg	180,00 kg	30 år
Dæk, forspændte huldæk	Bygningsdel	1 stk.	5.575.459,20 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevarer	2.302 m <sup>3</sup>	5.524.800,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevarer	48.421 kg	48.421,00 kg	120 år
→ Bitumen til vandtætning	Byggevarer	2.238,2 kg	2.238,20 kg	120 år
Dækisolering	Bygningsdel	1 stk.	10.840,50 kg	-

→ Mineraluld, alm	Byggevare	400,4 m <sup>3</sup>	10.510,50 kg	120 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevare	11 m <sup>3</sup>	330,00 kg	120 år
Trapper, stål	Bygningsdel	1 stk.	2.814,70 kg	-
→ ståltrapper	Byggevare	700 kg	700,00 kg	120 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevare	1.738,5 kg	1.738,50 kg	120 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevare	376,2 kg	376,20 kg	120 år
Betontrapper	Bygningsdel	1 stk.	53.221,00 kg	-
→ Armeringsstål	Byggevare	4.717 kg	4.717,00 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevare	20,21 m <sup>3</sup>	48.504,00 kg	120 år
Stålbjælker	Bygningsdel	1 stk.	65.000,00 kg	-
→ Stålprofil	Byggevare	65.000 kg	65.000,00 kg	120 år
Betonbjælker C35/45	Bygningsdel	1 stk.	4.544,70 kg	-
→ Armeringsstål	Byggevare	464,7 kg	464,70 kg	120 år
→ Beton C35/45	Byggevare	1,7 m <sup>3</sup>	4.080,00 kg	120 år
Betonsøjler	Bygningsdel	1 stk.	19.635,60 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevare	7,22 m <sup>3</sup>	17.340,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	2.295,6 kg	2.295,60 kg	120 år
Tag, komplettering	Bygningsdel	1 stk.	43.372,23 kg	-
→ Bitumen til vandtætning	Byggevare	12.226,4 kg	12.226,40 kg	40 år
→ Beton C20/25	Byggevare	2,35 m <sup>3</sup>	5.640,00 kg	40 år
→ Plastplade	Byggevare	0,02 m <sup>3</sup>	24,00 kg	30 år
→ Vinduesprofil, alu	Byggevare	1,43 kg	1,43 kg	30 år
→ Smedestål	Byggevare	12.560 kg	12.560,00 kg	30 år
→ Egetræ	Byggevare	6,9 m <sup>3</sup>	4.947,30 kg	30 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevare	32,4 m <sup>3</sup>	972,00 kg	120 år
→ Konstruktionstræ	Byggevare	5,9 m <sup>3</sup>	3.121,10 kg	120 år
→ Smedestål	Byggevare	3.700 kg	3.700,00 kg	120 år
→ Galvaniseret stålprofil	Byggevare	180 kg	180,00 kg	30 år
Tag	Bygningsdel	1 stk.	62.314,00 kg	-
→ Beton C35/45	Byggevare	20,21 m <sup>3</sup>	48.504,00 kg	120 år
→ Armeringsstål	Byggevare	386 kg	386,00 kg	120 år
→ Mineraluld, skråtag	Byggevare	404 m <sup>3</sup>	12.120,00 kg	120 år
→ Undertag, EPDM folie	Byggevare	1.304 kg	1.304,00 kg	40 år
Vinduer, glas/alu facade	Bygningsdel	1 stk.	26.618,20 kg	-
→ Vinduesprofil, alu	Byggevare	4.582,2 kg	4.582,20 kg	40 år
→ Mineraluld, facadesystem	Byggevare	134,4 m <sup>3</sup>	6.216,00 kg	40 år
→ Energirude (2-lags)	Byggevare	791 m <sup>2</sup>	15.820,00 kg	20 år
Trægulv	Bygningsdel	4.252 m <sup>2</sup>	27.638,00 kg	-
→ Trælaminat	Byggevare	4.252 m <sup>2</sup>	27.638,00 kg	30 år
Afretning, gulv	Bygningsdel	1 stk.	114.300,00 kg	-
→ Mørtel	Byggevare	127 m <sup>3</sup>	114.300,00 kg	120 år
Gulv, klinker	Bygningsdel	1 stk.	3.001,40 kg	-
→ Klinker	Byggevare	0,83 m <sup>3</sup>	1.660,00 kg	30 år
→ Fliseklæber	Byggevare	1.258,9 kg	1.258,90 kg	30 år
→ Dampspærre, PE	Byggevare	0,66 m <sup>3</sup>	82,50 kg	30 år
Linoleum gulv	Bygningsdel	122,9 m <sup>2</sup>	356,41 kg	-
→ Linoleum	Byggevare	122,9 m <sup>2</sup>	356,41 kg	15 år
Gulv, komplettering	Bygningsdel	1 stk.	131,10 kg	-
→ Stålprofil	Byggevare	131,1 kg	131,10 kg	30 år
Maling, nedhængte lofter	Bygningsdel	24,06 kg	24,06 kg	-
→ Maling indervægge	Byggevare	24,06 kg	24,06 kg	15 år
Nedhængte lofter	Bygningsdel	1 stk.	275.003,50 kg	-
→ Mineralulds isolering	Byggevare	9,5 m <sup>3</sup>	285,00 kg	30 år
→ Stålprofil	Byggevare	5.908,7 kg	5.908,70 kg	30 år

→ Gipsplade 2	Byggevarer	6.438,8 m <sup>2</sup>	54.729,80 kg	30 år
→ Fibercementplade	Byggevarer	89,2 m <sup>3</sup>	214.080,00 kg	30 år
Varme	Bygningsdel	13 stk.	64,22 kg	-
→ Cirkulationspumpe 50-250W	Byggevarer	13 stk.	64,22 kg	30 år
Vand	Bygningsdel	13 stk.	64,22 kg	-
→ Cirkulationspumpe 50-250W	Byggevarer	13 stk.	64,22 kg	30 år
Ventilation	Bygningsdel	10 stk.	86,00 kg	-
→ Ventilationsaggregat 1000 m <sup>3</sup> /time	Byggevarer	2 stk.	86,00 kg	30 år
Altaner	Bygningsdel	1 stk.	8.400,00 kg	-
→ Smedestål	Byggevarer	8.400 kg	8.400,00 kg	50 år

## Resultater

### SAMLET RESULTAT - BYGNING OG DRIFT

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	PETot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	2,286	0,145 × 10 <sup>-9</sup>	0,002	0,012	0,003	0,120 × 10 <sup>-3</sup>	21,406	24,000	0,834
Bygning(B)	5,969	0,016 × 10 <sup>-6</sup>	0,008	0,016	0,002	0,047 × 10 <sup>-3</sup>	25,664	23,878	1,664
Sum	8,255	0,016 × 10 <sup>-6</sup>	0,010	0,029	0,005	0,166 × 10 <sup>-3</sup>	47,070	47,878	2,498

### HOVEDRESULTATER - BYGNING

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPF	PETot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbasis (B)	0,192	0,618 × 10 <sup>-9</sup>	0,094 × 10 <sup>-3</sup>	0,321 × 10 <sup>-3</sup>	0,049 × 10 <sup>-3</sup>	0,308 × 10 <sup>-6</sup>	0,319	0,365	0,101
Primære bygningsele (P)	4,421	0,010 × 10 <sup>-6</sup>	0,007	0,011	0,001	0,027 × 10 <sup>-3</sup>	18,187	15,315	1,366
Komplettering (K)	1,251	0,005 × 10 <sup>-6</sup>	0,396 × 10 <sup>-3</sup>	0,005	0,608 × 10 <sup>-3</sup>	0,018 × 10 <sup>-3</sup>	6,820	7,814	0,200
Installationer (I)	0,105	0,193 × 10 <sup>-9</sup>	0,046 × 10 <sup>-3</sup>	0,353 × 10 <sup>-3</sup>	0,028 × 10 <sup>-3</sup>	0,002 × 10 <sup>-3</sup>	0,338	0,383	-0,003

Denne rapport giver en vurdering af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug som følge af byggematerialers fremstilling, transport, bortskaffelse og genanvendelse. Livscyklusanalysen af byggematerialer sammenlignes med miljøpåvirkninger og ressourceforbrug som følge af energiforbruget til bygningers drift, dvs. rumopvarmning m.v. Denne sammenligning er interessant, fordi den gældende offentlige regulering af bygningers energiforbrug alene omfatter driftsenergien, mens det energiforbrug og de miljøpåvirkninger, som er indlejret i byggematerialerne, ikke er reguleret i Bygningsreglementet eller andre offentlige forskrifter. Rapportens beregninger viser, at for nye bygninger er byggematerialernes indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger signifikant større end belastningen fra bygningernes driftsenergiforbrug. Der kan således være et betydeligt potentiale i en eventuel offentlig regulering til fremme af byggematerialers bæredygtighed.

1. udgave, 2017

ISBN 978-87-93585-01-0