



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **LCA-profiler for bygningsdele**

Marsh, Rob; Rasmussen, Freja Nygaard

*Publication date:*  
2014

*Document Version*  
Peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Marsh, R., & Rasmussen, F. N. (2014). LCA-profiler for bygningsdele: Et katalog til brug tidligt i designprocessen. (1 udg.) København: SBI forlag.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

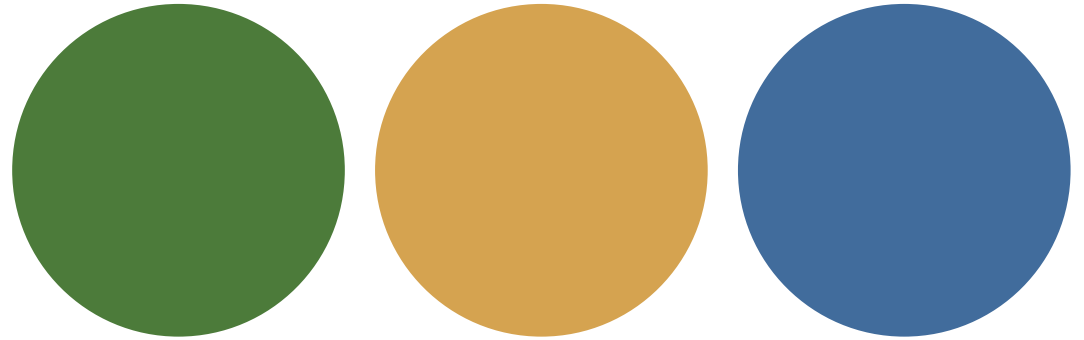
- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# LCA-profiler for bygningsdele

Et katalog til brug tidligt i designprocessen



Statens Byggeforskningsinstitut,  
Aalborg Universitet  
Henning Larsen Architects  
Rambøll



# Intro

Dette katalog er udarbejdet i InnoBYG regi. InnoBYG er byggebranchens innovationsnetværk for bæredygtigt byggeri. Initiativet til kataloget kommer fra byggebranchen selv. Udover den tid og økonomi branchen har lagt i udarbejdelsen, er kataloget, som andre projekter under InnoBYG, støttet af Styrelsen for Forskning og Innovation.

Kataloget sigter mod at kunne bidrage til designrelaterede og strategiske valg i det bæredygtige byggeri ved at præsentere et katalog af LCA-profiler for en række bygningsdele, og ved at perspektivere dem i forhold til de overordnede problemstillinger som rådgivere typisk skal håndtere tidligt i designprocessen.

Der er beregnet LCA-profiler på ni forskellige bygningsdele, hver af disse med en lang række forskellige konstruktionsløsninger. Beregningerne er foretaget med den systemafgrænsning og database der benyttes i LCA-delen af det danske certificeringssystem for bæredygtige bygninger DGNB. Kataloget viser et udsnit af de flere hundrede bygningsdele der er beregnet LCA-profiler for. For alle beregninger se værktøjet, som kan hentes på [www.innobyg.dk](http://www.innobyg.dk).

Kataloget er blevet til i et samarbejde mellem Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Henning Larsen Architects og Rambøll. Følgende nøglemedarbejdere har deltaget i projektforsløbet:

- Rob Marsh, seniorforsker, SBI, Aalborg Universitet (projektleder)
- Freja Nygaard Rasmussen, videnskabelig assistent, SBI, AAU
- Signe Kongebro, arkitekt MAA, Henning Larsen Architects
- Mikkel Hune, arkitekt MAA, Henning Larsen Architects
- Tom Hay, bygningsingeniør, Rambøll
- Kasper L. Køppen, bygningsingeniør, Rambøll.

Samarbejdet er sket gennem en række tværfaglige workshops, hvor bygningsdele, konstruktionsopbygninger og materialeforbrug er blevet fastlagt til brug i LCA-beregningerne. De strategiske problemstillinger, der påvirker valget af bygningsdel og dermed LCA-profilen i den tidlige designprocess, er også blevet fastlagt. Kataloget og værktøjet er blevet brugt tidligt i designprocessen af projektdeltagere for at sikre dataindsigten og brugbarheden.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Energi og miljø  
Juni 2014

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Indhold

4	<b>Bygningsdele og bæredygtighed?</b>	20	<b>Tung eller let?</b>
6	<b>Hvad er en LCA-profil?</b>	26	<b>Åben eller lukket?</b>
10	<b>Hvad med bygningers levetid?</b>	30	<b>Har beklædning en pris?</b>
12	<b>Hvad med materialers levetid?</b>	34	<b>Hvad med under terrænet?</b>
16	<b>Hvad med isoleringsniveauet?</b>	38	<b>Renovér eller nybyg?</b>

# Bygningsdele og bæredygtighed?

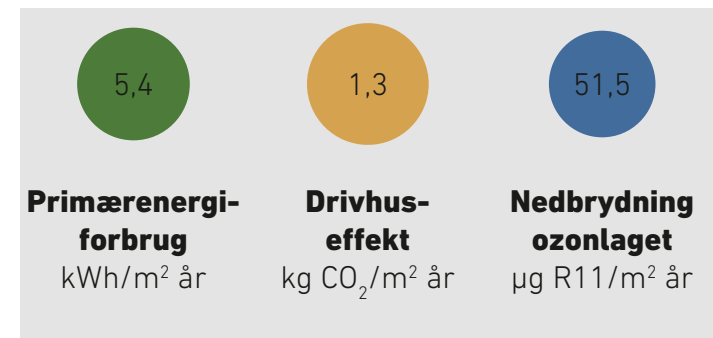
Dette katalog præsenterer et udpluk af de i alt ca. 800 LCA-beregninger, der er foretaget af følgende bygningsdele: ydervægge, tage, terrændæk, indervægge, etagedæk, fundamenter og kælderkonstruktioner. Formålet er at illustrere i hvor høj grad de strategiske valg tidligt i designprocessen har betydning for miljøprofilen.

LCA-profilerne for bygningsdelene hver især indgår som én af mange brikker i en samlet helhedsvurdering af et byggeris miljømæssige bæredygtighed. Dertil kommer blandt andet et niveau omhandlende bygningens samlede LCA-profil, som vil afhænge meget af bygningens overordnede design og udformning. Følgende betragtninger gør sig gældende i forhold til LCA-profilerne præsenteret i dette katalog:

- Til beregningerne er benyttet generiske data, der afspejler gennemsnitlig europæisk materialeproduktion. Brug af data fra produktspecifikke miljøvaredeklarationer kan give andre resultater end de her præsenterede.
- Scenarierne for bortskaffelse af materialer er standardscenarier med udgangspunkt i nutidig praksis. Alternative scenarier for bortskaffelse kan give andre resultater.
- I det praktiske bygningsdesign skal det miljøvenlige konstruktionsvalg afbalanceres i forhold til de eventuelle afledte effekter det måtte føre med sig vedrørende dagslys, indeklima, driftsenergiforbrug mv.

De væsentligste hovedkonklusioner fra kataloget drejer sig om følgende fire emner:

## Brug simplificerede LCA-profiler



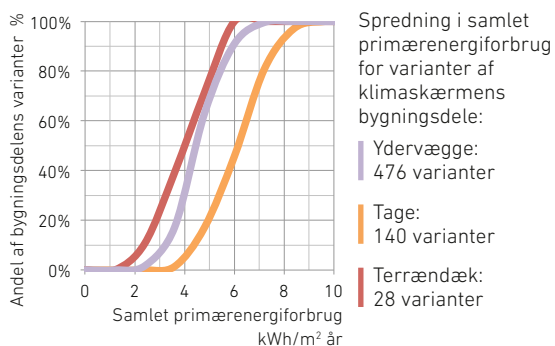
Der bruges otte kategorier for miljøpåvirkning og ressourceforbrug indenfor DGNB-systemet.

Som en del af dette katalogs udarbejdelse, er der blevet foretaget analyser af flere hundrede bygningsdeles LCA-profiler. Resultaterne viser, at der er en signifikant statistisk forhold mellem de fleste kategorier for miljøpåvirkning og ressourceforbrug.

LCA-profiler behøver derfor kun at indeholde tre kategorier, dvs. primærenergiforbrug, drivhuseffekt og nedbrydning af ozonlaget, for at repræsentere bygningsdelenes samlede miljøpåvirkning på en videnskabelig forsvarlig måde.

Dette katalog benytter sig derfor af simplificerede LCA-profiler, som kun indeholder disse tre kategorier. Det kan give en mere overskuelig og let tilgængelig tilgang som giver et hurtigt overblik tidligt i designprocessen.

## Sæt mål for bygningsdele



Det totale primærenergiforbrug af klimaskærmens primære bygningsdele (ydervægge, tage og terrændæk) ligger typisk i spændet 1-10 kWh/m<sup>2</sup> pr. år over bygningens samlede levetid:

- Tage er højest: 3 - 10 kWh/m<sup>2</sup> år
- Ydervægge er midterste: 2 - 8 kWh/m<sup>2</sup> år
- Terrændæk er laveste: 1 - 6 kWh/m<sup>2</sup> år.

Resultaterne viser en statistisk konsistent fordeling og spredning mellem de forskellige bygningsdeles konstruktionsvarianter.

Et bæredygtigt byggeri bør derfor sigte efter at benytte konstruktionstyper i den lave ende af denne spredning. Man kan også fastsætte minimumsværdier for bygningsdelene som strammes med fx. 25 % hvert femte år.

## Vær opmærksom på alu/glasfacader

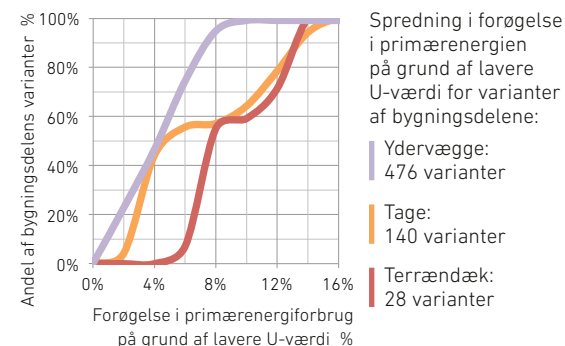


Glasfacader og glastag af aluminium fremviser LCA-profiler med væsentligt højere ressourceforbrug og potentiale for miljøpåvirkninger end andre bygningsdele, om end det er ydervægge, tage eller traditionelle vinduesløsninger.

Det skyldes, dels produktionen af materialerne, og dels at materialerne udskiftes mange gange over en bygningens samlede levetid.

Der har været mange dokumenterede problemer med overophedning i bygninger med store glasfacader. Der er derfor behov for en mere nuanceret designtilgang til anvendelsen af disse løsninger, hvor der balanceres kravene til dagslysforhold, indeklima, driftsenergiforbrug og materialernes LCA-profiler.

## Lavere U-værdier koster ikke meget



En reduktion af klimaskærmens U-værdi ved en forøgelse i tykkelsen af isoleringslaget giver ikke stort udslag i konstruktionens samlede LCA-profil, på trods af det øgede materialeforbrug:

- For ydervægge, en reduktion fra 0,12 til 0,09 W/m<sup>2</sup> K forøger primærenergien med højst 10 % for alle varianter; gennemsnittet er kun 5 %.
- For tage, en reduktion fra 0,09 til 0,07 W/m<sup>2</sup> K forøger primærenergiforbruget med højst 16 % for alle varianter; gennemsnittet er 7 %.
- For terrændæk, en reduktion fra 0,09 til 0,07 W/m<sup>2</sup> K forøger primærenergien med højst 14 % for alle varianter; gennemsnittet er 9 %.

Resultatet viser, at isoleringen ikke fylder meget i bygningsdeles LCA-profiler set som helhed.

# Hvad er en LCA-profil?

Livscyklustankegangen er i de senere år blevet introduceret som en metode til at adressere den miljømæssige bæredygtighed ved opførelse og anvendelse af en bygning. Ved en livscyklusvurdering (LCA) af en bygning sammenregnes de potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbruget fra en bygnings samlede forbrug af materialer og energi i løbet af hele bygningens levetid.

En LCA-profil betegnes i dette katalog som en samling af data, der på udvalgte kategorier angiver de forventede ressource- og miljømæssige konsekvenser af 1 m<sup>2</sup> konstruktion gennem hele dens livscyklus.

## Metode og afgrænsning

Beregningerne af bygningsdelenes miljøpåvirkning i dette katalog er foretaget med den systemafgrænsning og database der benyttes i LCA-delen af det danske certificeringssystem for bæredygtige bygninger DGNB (DK-GBC, 2014).

De faser, der indgår i et byggeris livscyklusvurdering, er defineret af de europæiske standarder for bæredygtighed inden for byggeri og anlæg CEN/TC 350 (Dansk Standard, 2011). På nuværende tidspunkt er det dog ikke muligt at indregne alle disse processer i DGNB-systemet. Ydermere er det ikke relevant at indregne alle faser i vurderingen af enkelte bygningsdele, som i dette katalog. Diagrammet til højre viser de processer der indgår i henholdsvis CEN-standarderne, DGNB-systemet og dette katalog.

Alle datasæt benyttet i beregningerne stammer fra de generiske LCA-databaser over byggematerialer, ESUCO og Ökobau, som bruges i DGNB-systemet. Disse repræsenterer europæiske eller tyske gennemsnitsdata for materialeproduktion. De specifikke LCA-resultater fra dette projekt kan dermed ikke uden videre benyttes uden for rammerne af DGNB-systemet eller den geografiske kontekst, fx. til sammenligning af produktspecifikke, danskproducerede materialer.

Omfattet af CEN-standarderne:		Indgår i DGNB-systemet	Indgår i dette katalog
Livscyklusfaser	Processer		
<b>Produktion</b>	Udvinning af råmaterialer	■	■
	Transport til fremstilling	■	■
	Materialefremstilling	■	■
<b>Konstruktion</b>	Transport til byggeplads		
	Installation		
<b>Brug</b>	Vedligehold/repairation		
	Udskiftning	■	■
	Ombygning		
	Energiforbrug til bygningsdrift	■	
	Vandforbrug		
<b>End-of-Life</b>	Nedrivning		
	Transport til affaldsbehandling		
	Affaldsbehandling	■	■
	Bortskaffelse	■	■
<b>Næste produktsystem</b>	Genbrugs-, genanvendelses- eller genvindingspotentiale	■	■

Kategorier for miljøpåvirkning og ressourceforbrug omfattet af CEN-standarderne og DGNB-systemet

En livscyklusanalyse skal foretages på funktionelt sammenlignelige produkter. For bygningsdele betyder det, at analysen foretages for 1 m<sup>2</sup> af konstruktionen med fx. samme U-værdi for klimaskærmskonstruktioner.

Miljøpåvirkningerne fra bygningsdelens livscyklus beregnes som de samlede påvirkninger fra alle materialer, der indgår i bygningsdelen, både oprindeligt installerede materialer samt de udskiftede. Materialernes levetider bestemmer antallet af udskiftninger i den samlede livscyklus. I udregningerne til dette katalog er benyttet en levetidstabel for materialer udarbejdet af SBI (Aagaard, 2013). Samme tabel benyttes i DGNB. Med denne tilgang kan samme materiale have forskellige levetider, afhængigt af brug, fx. har træ i et bærende træskelet lang levetid og træ i en træbeklædning kort levetid.

Bygningers levetid varierer i forhold til bygningstypen (Aagaard, 2013). Den samlede levetid for bygningsdelene fastsættes derfor på baggrund af bygningstype, med en forventet levetid på 80 år for kontorbyggeri og 120 år for boligbyggeri. Resultaterne præsenteres på et årligt grundlag, hvor de samlede miljøpåvirkninger og ressourceforbrug divideres med bygningens levetid. En uddybende beskrivelse af bygningers levetider findes på side 10-11.

### Miljøpåvirkning og ressourceforbrug

CEN-standarderne fastsætter en lang række kategorier for potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug i en livscyklusvurdering. Et udpluk af disse indgår i DGNB-systemet, og er vist i diagrammet til højre. Dette katalog omhandler kun de kategorier, som er benyttet af DGNB-systemet. Andre relevante miljø- og forbrugsmæssige konsekvenser, eksempelvis toksiske potentialer (i produktionen af materialer såvel som i bygningens indeklima) samt arealforbrug, er ikke omfattet.

#### Miljøpåvirkningskategorier

##### Drivhuseffekt

Udledning af drivhusgasser  
Måles i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter

##### Nedbrydning af ozonlaget

Måles i R11-ækvivalenter

##### Fotokemisk ozondannelse

Måles i ethene-ækvivalenter

##### Forsuring

Måles i SO<sub>4</sub>-ækvivalenter

##### Nærings saltbelastning

Måles i PO<sub>4</sub>-ækvivalenter

#### Ressourceforbrugskategorier

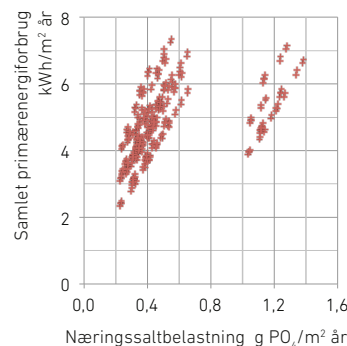
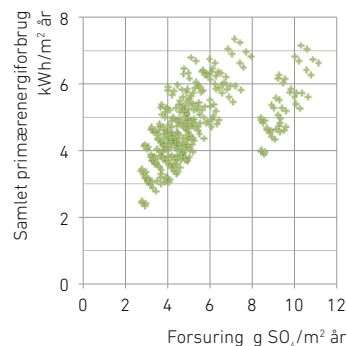
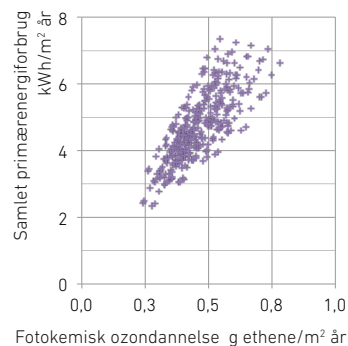
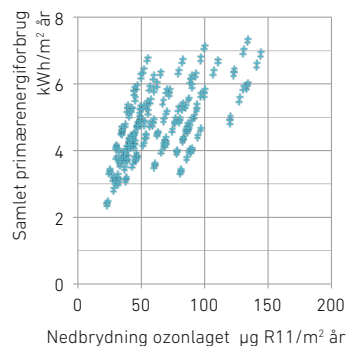
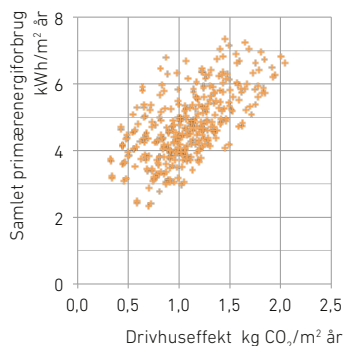
##### Samlet primærenergiforbrug

Forbrug af fossile, fornybare & sekundære brændsler  
Måles i MJ; konverteres til kWh

##### Fornybart primærenergiforbrug

Forbrug af fornybare energiresourcer  
Måles i MJ; konverteres til kWh





## LCA tidligt i designprocessen

Tidligt i designprocessen arbejder rådgivere og bygherrer typisk med en række flydende parametre i et iterativt forløb, hvor forskellige designløsninger hurtigt skal afprøves og undersøges i forhold til en række overordnede målsætninger.

Det giver derfor god mening at minimere antallet af kategorier for miljøpåvirkning og ressourceforbrug, som en LCA-profil indeholder. Det kan give en mere overskuelig og let forståelig tilgang som giver et hurtigt overblik tidligt i designprocessen.

## Fra mange til få LCA-kategorier

Dette katalog tager udgangspunkt i LCA-profiler bestående af et reduceret sæt af tre kategorier for potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, i stedet for de otte som indgår i DGNB-systemet.

Der er udført en statistisk analyse af flere hundrede forskellige variationer af de vigtigste bygningsdele, og forholdene mellem de forskellige kategorier for miljøpåvirkning og ressourceforbrug er blevet analyseret. Illustrationerne øverst på denne side viser resultaterne for ydervægge.

For alle bygningsdelene er der en stærk sammenhæng mellem det samlede primærenergiforbrug i forhold til alle miljøpåvirkningskategorier, bortset fra nedbrydning af ozonlaget. Som vist i diagrammet med standardafvigelsen i midten til højre på denne side, er afvigelsen over 4,5 for nedbrydning af ozonlaget, men under 0,5 for de andre kategorier.

Denne sammenhæng betyder, at når der sammenlignes to bygningsdele, vil en forskel i det samlede primærenergiforbrug højst sandsynligt give en tilsvarende forskel i de andre kategorier, bortset fra nedbrydning af ozonlaget.

Det betyder at det samlede primærenergiforbrug kan bruges til at repræsentere drivhuseffekten, fotokemisk ozondannelse, forsuring og nærings saltbelastning. Der er stadigvæk brug for nedbrydning af ozonlaget som et særskilt kategori.

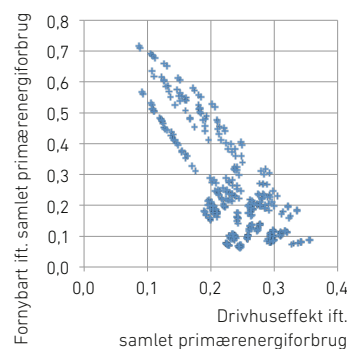
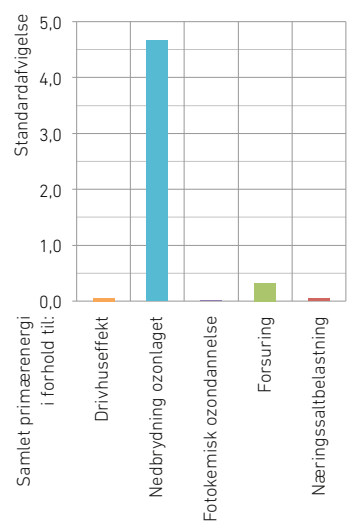
Samtidigt er der et reciprok forhold mellem drivhuseffekten og forbruget af fornybare energiresourcer, som vist i diagrammet nederst til højre på denne side. En lav drivhuseffekt vil højst sandsynligt betyde en større andel af fornybare energiresourcer for et givent samlet primærenergiforbrug.

Det betyder at drivhuseffekten kan bruges til at repræsentere det reciproke forbrug af fornybare energiresourcer. Drivhuseffekten er også en ofte efterspurgt kategori hos bygherrer og rådgivere som er relevant at inkludere i en livscyklusvurdering.

Dette katalog tager derfor udgangspunkt i følgende tre kategorier i de simplificerede LCA-profiler:

- Samlet primærenergiforbrug
- Drivhuseffekt
- Nedbrydning af ozonlaget

I det supplerende værktøj som følger med udgivelsen af dette katalog kan samtlige resultater for alle otte miljøpåvirknings- og ressourceforbrugskategorier desuden findes.



### Simplificeret LCA-profil

Her vises den simplificerede LCA-profil, som bruges i dette katalog til at illustrere miljøpåvirkningen for bygningsdelene.

Hver profil har en tilknyttet beskrivelse, som beskriver de væsentligste egenskaber, som profilen illustrerer.

Profilen for hver bygningsdel består af tre kategorier:

- Samlet primærenergiforbrug
- Drivhuseffekt
- Nedbrydning af ozonlaget.

Hver kategori viser resultaterne for to levetider, hhv. 80 og 120 år, for bygninger. En uddybende beskrivelse af bygningers levetider findes på side 10-11.

Hver kategori er vist med en farvet cirkel. Arealet af cirklen viser størrelsesordenen af miljøpåvirkningen.

Det er kun muligt at sammenligne cirkler af samme farve fra profil til profil. Det betyder, man kan fx. sammenligne primærenergiforbruget fra profil til profil. Man kan derimod ikke fx. sammenligne drivhuseffekten med nedbrydning af ozonlaget.

### Typisk bygningsdel

Typiske materialer og levetider



# Hvad med bygningers levetid?

Miljøpåvirkninger og ressourceforbrug fra en bygnings LCA rapporteres typisk fordelt over bygningens etageareal og forventede levetid. Det betyder, at resultaterne fra forskellige bygninger kan sammenlignes med hinanden. En bygning med lang levetid opnår typisk en lavere miljøpåvirkning end en bygning med kort levetid, fordi bygningen med lang levetid har flere år at fordele den samlede miljøpåvirkning på. Det giver anledning til nogle principielle overvejelser om hvordan en livscyklusvurdering udføres på en given bygningsdel.

## Bygningers forventede levetider

Ifølge CEN-standarderne fastsættes bygningens forventede levetid i forbindelse med bygherrens byggeprogram. Udføres livscyklusvurderingen som en del af DGNB-systemet, regnes dog over en såkaldt betragtningsperiode på 50 år. Denne tidsperiode er ikke videnskabeligt begrundet i bygningens forventede levetid, men er fastsat for at imødekomme en række andre analyseparametre i den samlede bæredygtighedsvurdering.

Levetidsanalyser af den eksisterende bygningsmasse viser dog, at de fleste bygninger har faktiske levetider, som er betydelig længere end 50 år, samtidigt med at forskellige bygningstyper har forskellige middellevetider (Aagaard, 2013). Det giver derfor meget god mening, at livscyklusvurderinger af bygninger tager udgangspunkt i levetidsmodeller, hvor bygningers forventede middellevetid fastsættes af bygningstypen, som vist i illustrationen til højre på denne side.

Dette katalog benytter sig derfor af forskellige levetider, der afspejler de vigtigste bygningstyper. Den samlede levetid for bygningsdelene fastsættes på baggrund af:

- En forventet levetid på 80 år for kontorbyggeri mv.
- En forventet levetid på 120 år for boligbyggeri mv.

Bygningers forventede middellevetid  
(Aagaard, 2013)

Landbrugs-  
bygninger **40 år**

Transportanlæg  
Idrætsanlæg  
Sommerhuse **60 år**

Kontorer  
Handel & service  
Fabrikker **80 år**

Institutioner  
Undervisning & forskning  
Sundhedsbygninger **100 år**

Boligbyggeri  
Kulturelle bygninger **120 år**

### Bygningsdele hvor alle materialer har en levetid på op til 120 år

Bygningsdele hvor alle materialer har en forventet levetid på op til 120 år, fx. en tung ydervæg af mursten, vil altid have en mere fordelagtig årlig miljøprofil i et boligbyggeri end i et kontorbyggeri. Det er fordi, materialernes miljøpåvirkning fra produktionsfasen er den samme, men skal fordeles over længere tid:

- Over 120 år giver materialerne en miljøpåvirkning svarende til 0,8 % pr.år.
- Over 80 år giver materialerne en miljøpåvirkning svarende til 1,3 % pr.år.

### Bygningsdele hvor alle materialer har en levetid på under 80 år

Bygningsdele hvor alle materialer har korte levetider under 80 år, fx. et vindue bestående af ramme/karm og termorude, vil altid have samme årlige miljøprofil i både et boligbyggeri og et kontorbyggeri.

Materialeudskiftninger inden for bygningsdelens forventede levetid beregnes som decimaludskiftninger. Effekten kan illustreres med en termorude med en levetid på 25 år:

- Over 120 år er der 4,8 udskiftninger, og det giver en miljøpåvirkning svarende til 4,0 % pr.år.
- Over 80 år er der 3,2 udskiftninger, og det giver en miljøpåvirkning svarende til 4,0 % pr.år.

Materialers levetid op til 120 år

0,8 % af påvirkning pr. år

#### Bygningens levetid: 120 år

Materialers levetid op til 120 år

1,3 % af påvirkning pr. år

#### Bygningens levetid: 80 år

Termorudes levetid 25 år

4,0 % af påvirkning pr. år

Ramme/karms levetid 50 år

2,0 % af påvirkning pr. år

#### Bygningens levetid: 120 år

Termorudes levetid 25 år

4,0 % af påvirkning pr. år

Ramme/karms levetid 50 år

2,0 % af påvirkning pr. år

#### Bygningens levetid: 80 år

# Hvad med materialers levetid?

Antallet af materialeudskiftninger påvirker en bygningsdels livscyklusvurdering, fordi en udskiftning indbefatter en ekstra materialelivscyklus, komplet med produktion og bortskaffelse. Der kan derfor i en bæredygtighedssammenhæng være god grund til at tænke i langtidsholdbare materialer. En investering i langtidsholdbare løsninger kan påvirke anlægsomkostningerne, men der ligger også nogle kvalitative og kvantitative fordele i et lavt vedligeholdelsesbehov.

I de praktiske beregninger af LCA-profilerne i dette katalog benyttes som udgangspunkt danske middellevetider for materialer og bygningsdele (Aagaard, 2013). Den faktiske middellevetid afgøres dog af en række underliggende levetidsbetragtninger og de faktorer der bestemmer disse:

- Den tekniske levetid, der bestemmes af materialekvalitet, udformning og design, udførelse, påvirkninger indendørs og udendørs, brugsforhold, vedligehold mv.
- Den funktionelle levetid, der bestemmes af samfundsforandringer, teknologisk udvikling, ændrede livsmønstre, urbanisering mv.
- Den økonomiske levetid, der bestemmes af konjunkturer, renteniveau, priser på arbejdskraft og byggematerialer, materialelegenskaber, design mv.
- Den æstetiske levetid, der bestemmes af livsstil og mode mv.

## Effekt af ændret levetid

Levetidstabellerne viser at de bærende elementer i de fleste bygningsdele har en levetid på op til 120 år, mens de indvendige og udvendige overflader ofte har kortere levetider. Følgende tre sider illustrerer derfor effekten på LCA-profilerne af at beklædningernes levetid varieres mellem kort, typisk og lang.

Det skal bemærkes at fremgangsmåden med at vurdere materialernes levetid enkeltvis ikke er en del af DGNB-systemets LCA-praksis. Her skal værdierne fra levetidstabellen altid benyttes.

## Ydervæg af beton, isolering og fibercementplade

Fibercementplade med:

Levetid:	Kort	Typisk	Lang
År:	30	60	120

## Koldt tag med tagpap

Tagpap med:

Levetid:	Kort	Typisk	Lang
År:	10	20	40

## Indervæg af stålskelet og gipsplade

Gipsplade med:

Levetid:	Kort	Typisk	Lang
År:	25	50	100

# Ydervæg af beton, isolering og fibercement

180 mm jernarmeret beton med maling  
300 mm mineraluld med stålskelet  
8 mm fibercementplade  
Trælægter  
10 mm fibercementplade

$U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

## Med kort levetid

30 års levetid for fibercementplade



## Med typisk levetid

60 års levetid for fibercementplade



## Med lang levetid

120 års levetid for fibercementplade



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

# Tag af træskelet, isolering og tagpap

2 x 13 mm gipsplade med maling

45 mm forskalling med mineraluld

Dampspærre

350 mm træskelet med mineraluld

22 mm krydsfiner

2 lag tagpap

$U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

## Med kort levetid

10 års levetid for tagpap



## Med typisk levetid

20 års levetid for tagpap



## Med lang levetid

40 års levetid for tagpap



Bygnings levetid

LCA-kategori

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

# Indervæg af stålskelet og gipsplade

2 x 13 mm gipsplade med maling  
80 mm stålskelet med mineraluld  
2 x 13 mm gipsplade med maling

## Med kort levetid

25 års levetid for gipsplade



## Med typisk levetid

50 års levetid for gipsplade



## Med lang levetid

100 års levetid for gipsplade



Bygnings levetid

LCA-kategori

80 år

120 år

**Primærenergiforbrug**

kWh/m<sup>2</sup> år

80 år

120 år

**Drivhuseffekt**

kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

80 år

120 år

**Nedbrydning ozonlaget**

µg R11/m<sup>2</sup> år



# Hvad med isoleringsniveauet?

Siden 1970'ernes oliekrise har der været fokus på at nedbringe transmissi-onstabet fra bygninger ved at forbedre bygningsdelenes varmeisolering. Fra 2006 har målsætningen været at reducere bygningers samlede primærenergi-forbrug i driftsfasen, hvor et forbedret isoleringsniveau har været én af mange strategier. Typiske løsninger for nybyggeri er EPS isolering i terrændækket samt mineraluld i taget og ydervæggene. Der findes også en række, nyere, alternative isoleringsmaterialer.

En bygningsdel med meget isolering vil have et mindre varmetab end en byg-ningsdel med lidt isolering, men sammenhængen er ikke lineær. For eksempel vil en fordobling af tykkelsen på isoleringen kun resultere i en halvering af U-værdien.

Et øget forbrug af isoleringsmateriale i bygningsdelen betyder også øget res-ourceforbrug samt øgede potentielle miljøpåvirkninger fra materialeprodukt-ion, -udskiftninger og -bortskaffelse.

## Effekt af ændret isoleringsniveau

Tidligt i designprocessen kan der være behov for at foretage helhedsoriente-rede vurderinger af løsninger, hvor besparelserne i driftsfasens primærener-giforbrug måles i forhold til det ekstra primærenergiforbrug som stammer fra materialernes produktion og livscyklus.

Følgende tre sider viser effekten af hhv. en høj, typisk og lav U-værdi på LCA-profilen for en ydervæg, tag og terrændæk. Resultaterne viser, at der ikke er en stor procentvis ændring i LCA-profilen for den samlede konstruktion ved at ændre isoleringstykkelsen. Det ekstra isoleringsmateriale betyder nemlig ikke meget for resultaterne i forhold til de andre materialer, der indgår i kon-struktionen.

## Ydervæg af stålskelet, isolering og skærmtegl

Isoleringstykkelser der giver:

U-værdi:	Høj	Typisk	Lav
W/m <sup>2</sup> K:	0,15	0,12	0,09

## Tag af beton huldæk, isolering og membran

Isoleringstykkelser der giver:

U-værdi:	Høj	Typisk	Lav
W/m <sup>2</sup> K:	0,12	0,09	0,07

## Terrændæk af trægulv, beton og isolering

Isoleringstykkelser der giver:

U-værdi:	Høj	Typisk	Lav
W/m <sup>2</sup> K:	0,12	0,09	0,07

# Ydervæg af stålskelet, isolering og skærmtegl

2 x 13 mm gipsplade med maling  
45 mm forskalling med mineraluld

Dampspærre

200/275/375 mm stålskelet med mineraluld

8 mm fibercementplade

Stållægter

Skærmtegl

## Med høj U-værdi

245 mm isolering:  $U = 0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



## Med typisk U-værdi

320 mm isolering:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



## Med lav U-værdi

420 mm isolering:  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

# Tag af beton huldæk, isolering og membran

220 mm beton huldæk med maling  
 Dampspærre  
 300/400/500 mm trykfast mineraluld  
 EPDM membran

## Med høj U-værdi

300 mm isolering:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



## Med typisk U-værdi

400 mm isolering:  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



## Med lav U-værdi

500 mm isolering:  $U = 0,07 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

# Terrændæk af trægulv, isolering og beton

22 mm trægulv med behandling  
30 mm træstrøer & mineraluld  
Dampspærre  
100 mm jernarmeret beton  
300/400/500 mm EPS isolering  
150 mm singels

## Med høj U-værdi

300 mm isolering:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



## Med typisk U-værdi

400 mm isolering:  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



## Med lav U-værdi

500 mm isolering:  $U = 0,07 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

# Tung eller let?

Valget mellem tunge og lette materialer har relevans både for bygningens designmæssige fremtoning samt for valget af bygningens bærende konstruktioner og systemer. Materialer som anses som tunge i masse og i fremtoning er eksempelvis beton og tegl. Lette materialer er eksempelvis træ, stål, gips og glas.

Indtil 1970'ernes oliekrise blev bygninger typisk opført med mere homogene og massive konstruktionstyper. Efter energikrisen er konstruktionerne blevet lagdelte funktionelt, og lette materialer er blevet udbredt i takt med byggeriets industrialisering.

De fleste bygningsdele kan opdeles i tre lag, bestående af et indvendigt lag, et isolerende lag og et udvendigt lag. Der er samlet set mange kombinationsmuligheder for sammensætningen af lette og tunge materialer, både for de forskellige bygningsdele og i bygningen som helhed.

## Effekt af ændret sammensætning

De følgende fem sider viser forskellige sammensætninger mellem tunge og lette materialer for de indvendige og udvendige lag. De fem vigtigste bygningsdele er omfattet.

Der er store variationer i LCA-profilerne, og der er ikke et éntydigt forhold mellem tung og let. Brugen af træ, enten som beklædning eller som bærende konstruktion generelt giver lavere resultater for de potentielle miljøpåvirkninger. Primærenergiforbruget er i nogle tilfælde højere i konstruktionerne med meget træ end konstruktionerne med lidt træ, men her skal den reciproke sammenhæng mellem drivhuseffekt og fornybar primærenergi holdes i mente; det vil sige en større andel af primærenergien er sandsynligvis fra fornybare kilder.

## Ydervægge

Indvendigt lag:	Beton	Beton	Træskelet
Isolerende lag:	Isolering	Isolering	Isolering
Udvendigt lag:	Murværk	Træbeklædning	Træbeklædning

## Tage

Indvendigt lag:	Beton huldæk	Træskelet	Træskelet
Isolerende lag:	Isolering	Isolering	Isolering
Udvendigt lag:	Tagpap	Tagpap	Tagsten

## Terrændæk

Indvendigt lag:	Linoleum	Trægulv	Trægulv
Miderste lag:	Beton	Beton	Isolering
Isolerende lag:	Isolering	Isolering	Krybekælder

## Indervægge

Indvendigt lag:	Puds	Gipsplade	Aluminiumsskinne
Miderste lag:	Porebetonblokke	Stålskelet	Glasvæg
Indvendigt lag:	Puds	Gipsplade	Aluminiumsskinne

## Etagedæk

Indvendigt lag:	Beton huldæk	Stålskelet	Træskelet
Isolerende lag:	Isolering	Isolering	Isolering
Udvendigt lag:	Trægulv	Trægulv	Trægulv

180 mm jernarmeret beton med maling  
 300 mm mineraluld  
 108 mm murværk

**Beton  
 Isolering  
 Murværk**

Ydervægge

$U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



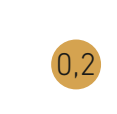
180 mm jernarmeret beton med maling  
 300 mm mineraluld med stålskelet  
 8 mm fibercementplade  
 Trælægter  
 25 mm lærketræsbeklædning

**Beton  
 Isolering  
 Træbeklædning**



2 x 13 mm gipsplade med maling  
 45 mm forskalling med papiruld  
 Dampspærre  
 300 mm træskelet med papiruld  
 8 mm fibercementplade  
 Trælægter  
 25 mm lærketræsbeklædning

**Træskelet  
 Isolering  
 Træbeklædning**



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m<sup>2</sup> år

220 mm beton huldæk med maling  
 Dampspærre  
 400 mm trykfast mineraluld  
 2 lag tagpap

**Beton huldæk**  
**Isolering**  
**Tagpap**



Tage

$U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

2 x 13 mm gipsplade med maling  
 45 mm forskalling med mineraluld  
 Dampspærre  
 350 mm træskelet med mineraluld  
 22 mm krydsfiner  
 2 lag tagpap

**Træskelet**  
**Isolering**  
**Tagpap**



2 x 13 mm gipsplade med maling  
 45 mm forskalling med mineraluld  
 Dampspærre  
 350 mm træskelet med mineraluld  
 22 mm krydsfiner  
 Undertag & trælægter  
 Teglsten

**Træskelet**  
**Isolering**  
**Teglsten**



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

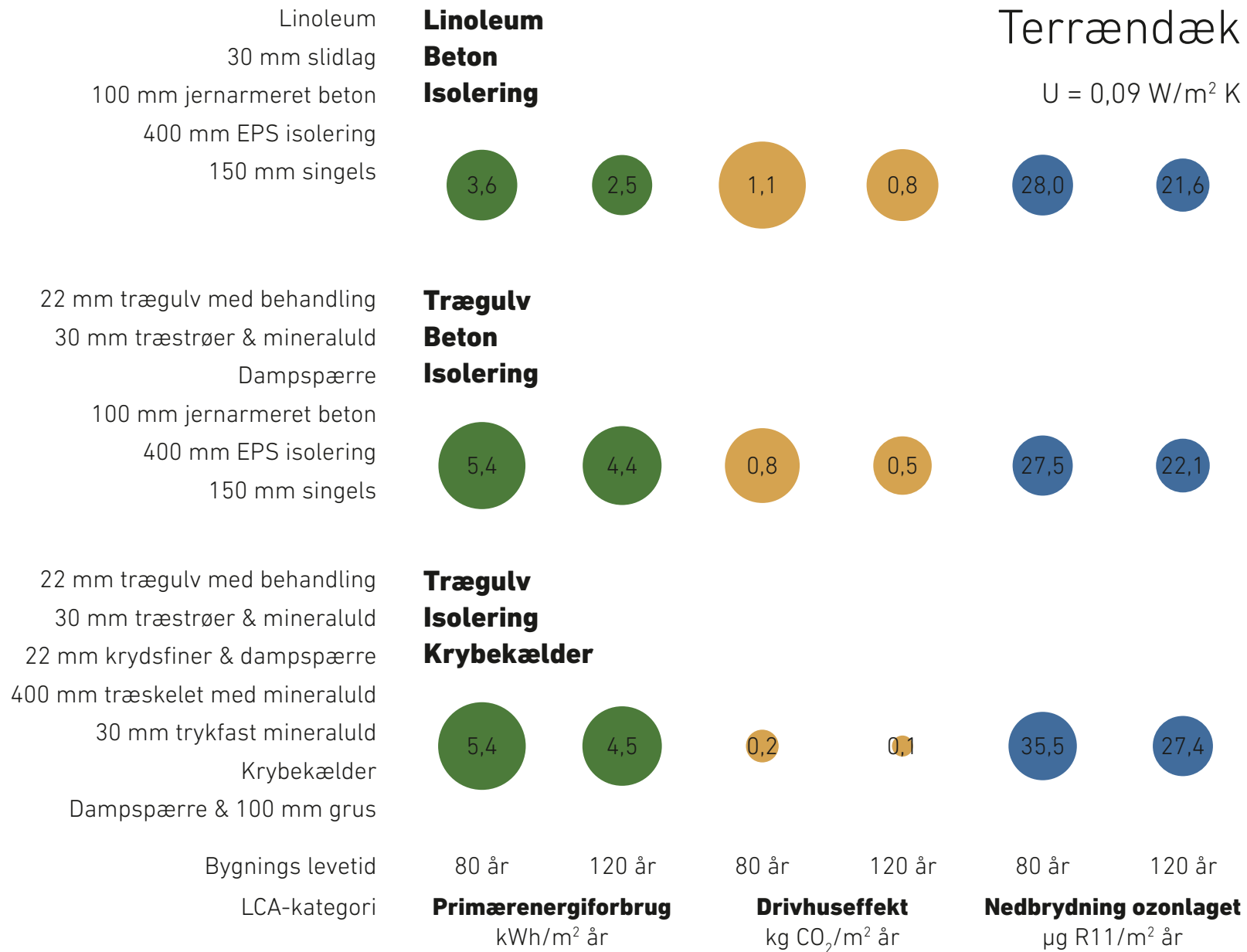
120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m<sup>2</sup> år





5 mm puds med maling  
 100 mm porebetonblokke  
 5 mm puds med maling

**Puds**  
**Porebetonblokke**  
**Puds**

Indervægge

1,2

1,0

0,4

0,3

15,1

11,9

2 x 13 mm gipsplade med maling  
 80 mm stålskelet med mineraluld  
 2 x 13 mm gipsplade med maling

**Gipsplade**  
**Stålskelet**  
**Gipsplade**

1,9

1,8

0,4

0,4

19,2

18,3

Aluminium skinne til loft  
 12 mm glasvæg  
 Aluminium skinne til gulv

**Aluminiumsskinne**  
**Glasvæg**  
**Aluminiumsskinne**

4,6

4,6

1,1

1,1

94,7

94,7

Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m<sup>2</sup> år

# Etagedæk

200 mm beton huldæk med maling  
 Dampspærre  
 30 mm træstrøer & mineraluld  
 22 mm trægulv med behandling

## Beton huldæk Isolering Trægulv



15 mm nedhængt loft af mineraluld  
 Stålblade, trykfast mineraluld & dampspærre  
 200 mm stålskelet med mineraluld  
 Stålblade & 35 mm gipsplade  
 30 mm træstrøer & mineraluld  
 22 mm trægulv med behandling

## Stålskelet Isolering Trægulv



2 x 13 mm gipsplade med maling  
 45 mm forskalling med mineraluld  
 Dampspærre  
 200 mm træskelet med mineraluld  
 22 mm krydsfiner & dampspærre  
 30 mm træstrøer & mineraluld  
 22 mm trægulv med behandling

## Træskelet Isolering Trægulv



Bygnings levetid  
 LCA-kategori

80 år      120 år  
**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m<sup>2</sup> år

80 år      120 år  
**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

80 år      120 år  
**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m<sup>2</sup> år

# Åben eller lukket?

Brugen af glas kræver en designmæssig balancegang for at sikre bygningers dagslysforhold, solafskærmning, indeklime og energiforbrug. I den tidlige designproces spiller en afvejning af glasarealernes omfang ofte en vigtig designmæssig rolle. Omfanget har også en stor virkning på valget af vindues- eller ovenlystype, hvor vinduer og ovenlys benyttes til mindre glasarealer, mens glasfacader og glastag bruges til de store glasarealer.

Vinduer består af materialer med korte levetider, typisk under 80 år. Det betyder at LCA-profilen for bygninger med levetider på hhv. 80 og 120 år vil være identisk, som forklaret på side 11.

Antallet af lavenergiruder, enten 2- eller 3-lag, er derimod en afgørende parameter i minimeringen af vinduers varmetab, som også begrænser tilførslen af dagslyset. Det giver derfor god mening at undersøge vinduestyper med forskellige U-værdier, med baggrund i antallet af glaslag.

## Effekt af åbningstype

De følgende tre sider viser forskellige løsninger for vinduer, glasfacader, ovenlys og glastag. Løsningerne omfatter traditionelle vinduer, kompositeløsninger og aluminiumsløsninger, både med og uden solafskærmning.

At glasfacader kan leve op til bygningsreglementets energikrav i driftsfasen, gør dog ikke nødvendigvis løsningen bæredygtig i et LCA-perspektiv. Glasfacadernes og -tagenes LCA-profiler fremviser væsentligt højere værdier end de ydervægs- og tagløsninger der vises på side 21-22. Det hænger dels sammen med den hyppigere udskiftning, og dels med valget af materialerne.

Brugen af fast solafskærmning, grundet ekstra materialeforbrug, har øget miljøpåvirkning i forhold til løsninger uden solafskærmning. Brugen af solafskærmning skal derfor afvejes i forhold til andre energi- og indeklimeforhold.

## Vinduer

Trævindue  
Energirude

Kompositvindue  
Energirude

Kompositvindue  
Energirude  
Fast solafskærmning

## Glasfacade

Aluminium glasfacade  
Energirude

Aluminium glasfacade  
Energirude  
Fast solafskærmning

Aluminium dobbelt facade  
Energirude & glaslag  
Fast solafskærmning

## Ovenlys og glastag

Træ ovenlys  
Energirude

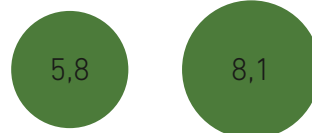
Aluminium glastag  
Energirude

Aluminium glastag  
Energirude  
Fast solafskærmning

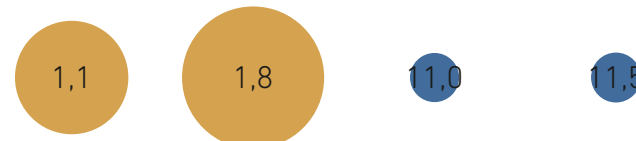
# Vinduer

50 x 150 mm karm/ramme af træ  
2-lags eller 3-lags energirude  
Lavenergibelægning

## Trævindue Energirude

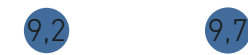
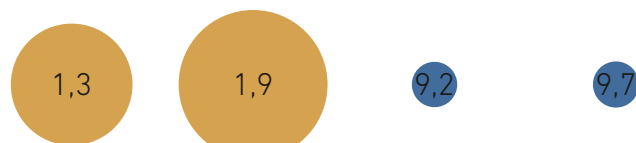


Glas U (W/m<sup>2</sup> K): 2-lag = 1,00; 3-lag = 0,50



50 x 80 mm karm af træ  
50 x 30 mm ramme af komposit  
2-lags eller 3-lags energirude  
Lavenergibelægning

## Kompositvindue Energirude



50 x 80 mm karm af træ  
50 x 30 mm ramme af komposit  
2-lags eller 3-lags energirude  
Lavenergibelægning  
Fast solafskærmning af lærketræ

## Kompositvindue Energirude Fast solafskærmning



Levetid 80 & 120 år: Energirude antal lag

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

50 x 110 mm aluminiumsprofil  
2-lags eller 3-lags energirude  
Lavenergibelægning

**Aluminium glasfacade  
Energirude**

Glasfacade

Glas U (W/m<sup>2</sup> K): 2-lag = 1,00; 3-lag = 0,50



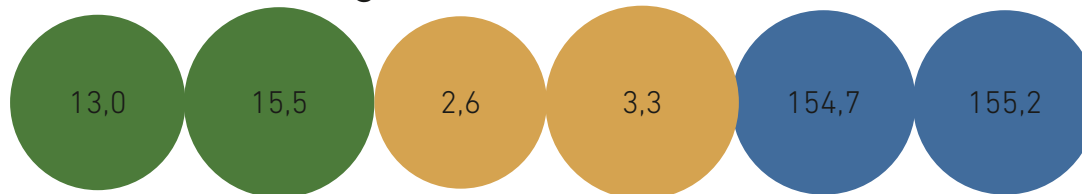
50 x 110 mm aluminiumsprofil  
2-lags eller 3-lags energirude  
Lavenergibelægning  
Fast solafskærmning af aluminium

**Aluminium glasfacade  
Energirude  
Fast solafskærmning**



50 x 110 mm aluminiumsprofil  
2-lags eller 3-lags energirude  
Lavenergibelægning  
50 x 110 mm aluminiumsprofil  
1-lags glas  
Fast solafskærmning af lærketræ

**Aluminium dobbeltfacade  
Energirude & glaslag  
Fast solafskærmning**



Levetid 80 & 120 år: Energirude antal lag  
LCA-kategori

2 lag

3 lag

2 lag

3 lag

2 lag

3 lag

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

40 x 140 mm karm/ramme af træ  
 Aluminiumsprofiler & inddækninger  
 2-lags eller 3-lags energirude  
 Lavenergibelægning

**Træ ovenlys  
 Energirude**

Ovenlys og glastag

Glas U (W/m<sup>2</sup> K): 2-lag = 1,00; 3-lag = 0,50



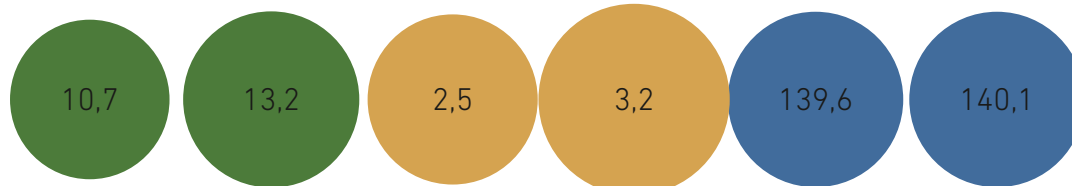
50 x 210 mm aluminiumsprofil  
 2-lags eller 3-lags energirude  
 Lavenergibelægning

**Aluminium glastag  
 Energirude**



50 x 210 mm aluminiumsprofil  
 2-lags eller 3-lags energirude  
 Lavenergibelægning  
 Fast solafskærmning af aluminium

**Aluminium glastag  
 Energirude  
 Fast solafskærmning**



Levetid 80 & 120 år: Energirude antal lag  
 LCA-kategori

2 lag

3 lag

2 lag

3 lag

2 lag

3 lag

**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m<sup>2</sup> år

# Har beklædning en pris?

Bygningens overfladematerialer og beklædninger vurderes og vælges ikke kun på baggrund af deres tekniske egenskaber men i særdeleshed på baggrund af den æstetik som de kan bidrage med som en del af den arkitektoniske udformning. Det er dermed en overordnet designparameter, om det ene eller det andet materiale udvælges i en bestemt sammenhæng, og det er en beslutning som ofte træffes tidligt i designprocessen.

Der kan dog være stor forskel på beklædningers miljøprofiler, som påvirkes af både materialets produktionsforhold og af dets levetid. Det kan derfor give stor miljømæssig forskel, om der vælges det ene eller det andet materiale i en bestemt designmæssig sammenhæng.

## Effekt af ændret beklædning

De følgende tre sider viser forskellige løsninger for klimaskærmens tre hovedkonstruktioner, dvs. ydervæg, tag og terrændæk. For hver bygningsdel er den underliggende konstruktion identisk, og der vises resultater for tre forskellige beklædninger.

I LCA-kategorien for nedbrydning af ozonlaget er forskellen mellem beklædningernes resultater anselige med op til 160 % forskel. I de to andre kategorier er der knap så opsigtsvækkende forskelle mellem beklædningerne, selv om LCA-profilen dog nogle steder kan fremvise dobbelt så høje værdier for én beklædning sammenlignet med en anden.

Forskellene mellem beklædningerne maskeres yderligere af de underliggende konstruktioner som er ens for de enkelte klimaskærmskonstruktioner. Det vil sige, at resultaterne peger på at overfladematerialer sammenlignet enkeltvis vil have meget store udsving i LCA-profilen, men i den samlede konstruktion vil forskellen ikke være nær så udtalt.

## Ydervæg af porebeton og isolering

Med beklædning af: Træbeklædning      Natursten      Zink

## Tag af stålskelet og isolering

Med beklædning af: Teglsten      Grønt tag      Zink

## Terrændæk af beton og isolering

Med beklædning af: Slidlag      Natursten      Tæppe

# Ydervæg af porebeton og isolering

100 mm porebetonblokke med puds & maling  
300 mm mineraluld med stålskelet  
8 mm fibercementplade  
Facadebeklædning

U = 0,12 W/m<sup>2</sup> K

## Med træbeklædning

25 mm lærketræsbeklædning på trælægter



## Med natursten

30 mm natursten på stållægter



## Med zink

1 mm zinkplade på stållægter



Bygnings levetid

LCA-kategori

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år



# Tag af stålskelet og isolering

2 x 13 mm gipsplade med maling  
 45 mm forskalling med mineraluld  
 Dampspærre  
 350 mm stålskelet med mineraluld  
 30 mm trykfast mineraluld  
 Tagbeklædning

U = 0,09 W/m<sup>2</sup> K

## Med teglsten

43 kg/m<sup>2</sup> teglsten på lægter & undertag



## Med grønt tag

Grønt tag med membran, skillelag & vækstlag



## Med zink

1 mm zinkplade med stående false, hæfter & glidelag



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

# Terrændæk af beton og isolering

Gulvbeklædning  
100 mm jernarmeret beton  
400 mm EPS isolering  
150 mm singels

U = 0,09 W/m<sup>2</sup> K

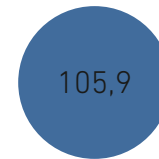
## Med slidlag

30 mm slidlag



## Med natursten

20 mm natursten på mørtel



## Med tæppe

Tæppefliser på slidlag



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**

kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**

kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**

µg R11/m<sup>2</sup> år

# Hvad med under terrænet?

Afhængig af bygningstype kan en stor del af en bygnings totale ressourceforbrug ligge gemt under jorden i form af fundamenter og kældre. Parkeringskældre i større kontorbyggerier er naturligvis anselige konstruktioner i sig selv, men også fundamentet eller kælderen i et parcelhus kan udgøre en forholdsmæssig stor andel af bygningens samlede masse.

Der er typisk ikke meget albuerum i designfasen når det gælder fundament og kælder, hverken hvad angår udformning eller materialer. For fundamenter er det jordens bæreevne på den eksakte lokalitet der bestemmer udformningen. For kældre skal dimensionerne passe til de overliggende ydervægge, ligesom der kan være specifikke krav om fx. antal og layout af parkeringspladser.

Analyser af bygningers miljøpåvirkning og energiforbrug sammenlignes ofte på baggrund af etagearealet. Kælderkonstruktioner bidrager med en udfordring, fordi der er forskellige arealer i spil, når belastninger fra materialer og energiforbrug skal fordeles. Kældre er typisk uopvarmet, så de tæller ikke med i det opvarmede etageareal, når driftsenergien beregnes. Kælderkonstruktioner øger dog bygningers samlede ressourceforbrug, så man kan risikere meget høje tal, hvis LCA-resultaterne kun fordeles på de opvarmede etagearealer. Løsningen i DGNB-regi er derfor, at 50 % af kældrens areal benyttes sammen med det opvarmede etageareal ved en fordeling af materialernes miljøpåvirkninger pr. kvadratmeter.

## Effekt af fundamenter og kældre

De følgende tre sider viser forskellige løsninger for fundamenter, kældervægge samt kældergulv og -dæk. Resultaterne viser at LCA-kategorien for drivhus-effekten typisk er høje, mens de to andre kategorier er lave. Det skyldes, at disse bygningsdele har et relativt højt betonforbrug med få andre materialer.

### Fundamenter til

Ydervæg af porebeton, isolering og murværk med  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Ydervæg af beton, isolering og murværk med  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Ydervæg af skelet, isolering og fibercementplade med  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

### Kældervægge

Kælderydervæg med  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  til ydervæg på 300 mm

Kælderydervæg med  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  til ydervæg på 700 mm

Kælderindervæg

### Kældergulv/dæk

Kældergulv med  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Kældergulv med  $U = 0,07 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Kælderdæk

# Fundamenter

500 x 675 mm jernarmeret beton  
 100 x 450 mm letklinkerblokke  
 100 x 450 mm EPS isolering  
 100 x 450 mm letklinkerblokke  
 15 x 450 mm puds

**Til ydervæg med porebeton,  
 isolering og murværk  
 med U = 0,12 W/m<sup>2</sup> K**



580 x 675 mm jernarmeret beton  
 180 x 450 mm jernarmeret beton  
 400 x 450 mm EPS isolering  
 100 x 450 mm letklinkerblokke  
 15 x 450 mm puds

**Til ydervæg med beton,  
 isolering og murværk  
 med U = 0,09 W/m<sup>2</sup> K**



450 x 675 mm jernarmeret beton  
 250 x 450 mm jernarmeret beton  
 200 x 450 mm EPS isolering  
 10 x 450 mm fibercementplade

**Til ydervæg med skelet,  
 isolering og fibercementplade  
 med U = 0,09 W/m<sup>2</sup> K**



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**

kWh/lb.m år

**Drivhuseffekt**

kg CO<sub>2</sub>/lb.m år

**Nedbrydning ozonlaget**

µg R11/lb.m år

250 mm jernarmeret beton med maling  
 50 x 250 mm jernarmeret betonkonsol  
 Bitumenlag  
 300 mm EPS isolering  
 200 mm grus

**Kælderydervæg  
 med  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   
 til ydervæg på 300 mm**



250 mm jernarmeret beton med maling  
 200 x 450 mm jernarmeret betonkonsol  
 Bitumenlag  
 400 mm EPS isolering  
 200 mm grus

**Kælderydervæg  
 med  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   
 til ydervæg på 700 mm**

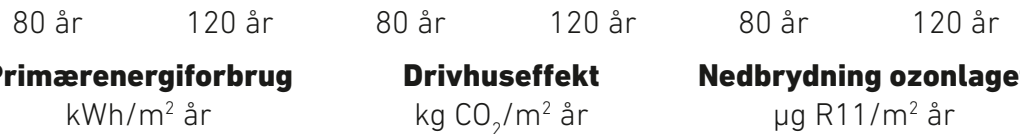


Maling  
 200 mm jernarmeret beton  
 Maling

**Kælderindervæg**



Bygnings levetid  
 LCA-kategori



Kældervægge

Maling  
 100 mm jernarmeret beton  
 300 mm singels drænlæg  
 300 mm jernarmeret beton  
 400 mm EPS isolering  
 150 mm singels

**Kældergulv  
 med  $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$**



**Kældergulv/dæk**

Maling  
 100 mm jernarmeret beton  
 300 mm singels drænlæg  
 300 mm jernarmeret beton  
 500 mm EPS isolering  
 150 mm singels

**Kældergulv  
 med  $U = 0,07 \text{ W/m}^2 \text{ K}$**



Maling  
 400 mm beton huldæk  
 Maling

**Kælderdæk**



Bygningens levetid  
 LCA-kategori

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m² år

**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m² år

**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m² år

# Renover eller nybyg?

Energirenoveringen af ældre bygninger er et samfundsmæssigt interesseområde, hvor målsætningen er at spare på varmeregningen og forbedre komforten. Der skal typisk være et byggeteknisk renoveringsbehov i form af en nedslidt klimaskærm for at sikre, at rentabiliteten hænger sammen. På grund af pladsbegrænsninger kan man forvente dårligere U-værdier i energirenoverede bygninger sammenlignet med nybyggeriet.

For meget nedslidte bygninger kan alternativet til energirenovering være nedrivning og opførelsen af en ny, energieffektiv bygning, som typisk vil være isoleret til et højt niveau. Et nybyggeri kræver dog opførelsen af en lang række bærende konstruktioner, der ikke som primært formål har en positiv effekt i forhold til driftsenergiforbruget, fx. de indvendige bygningsdele og fundamentene. Der er dermed et ekstra materialeforbrug tilknyttet løsningen med nybyggeri og heraf øgede potentielle miljøpåvirkninger.

## Effekt af renoveringsløsninger

De energirenoveringer, der vises på de følgende tre sider, skal udføres som en isolerende konstruktion der skal føjes til en allerede bestående bygningsdel. U-værdien af den nye konstruktion er angivet, og kan bruges til at estimere U-værdien af den nye, samlede bygningsdel, afhængigt af den bestående.

LCA-profilerne til renovering kan sammenlignes med de tidligere viste eksempler for nye, højisolerede ydervægge eller tage. Figurerne afspejler tydeligt at der er væsentligt færre belastninger forbundet med renoveringsløsninger end med nybyggede løsninger, men U-værdien er til gengæld dårligere.

I en sammenligning af energirenovering og nybyggeriet vil energirenoverede bygninger derfor typisk have en lavere miljøpåvirkning fra materialerne og et højere primærenergiforbrug fra bygningsdrift.

### Ydervægge

Isolering  
Udvendig puds

Stålskelet  
Isolering  
Fibercementplade

Indvendig puds  
Isolerende porebetonblokke

### Tage

Papiruld til tagrum  
Teglsten

Isolering  
Tagpap

Gipsplade  
Isolering  
Træskelet

### Dæk over kælder

Trægulv  
Isolering  
Gipsplade

### Vindue

Forsatsvindue  
Glasrude

200 mm trykfast mineraluld  
Armeringslag  
25 mm puds

**Isolering**  
**Udvendig puds**

Ydervægge

Ny isolering  $U = 0,19 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

1,4

1,2

0,4

0,3

16,0

12,9

200 mm mineraluld med stålskelet  
8 mm fibercementplade  
Trælægter  
10 mm fibercementplade

**Stålskelet**  
**Isolering**  
**Fibercementplade**

2,7

2,3

0,7

0,6

34,5

29,5

Maling  
5 mm indvendig puds  
220 mm isolerende porebetonblokke

**Indvendig puds**  
**Isolerende porebetonblokke**

0,8

0,6

0,3

0,2

10,3

7,8

Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år



215 mm papiruld lagt ud i tagrum  
Undertag & trælægter  
Teglsten med 45 ° hældning

**Papiruld til tagrum  
Teglsten**

Tage

Ny isolering U = 0,19 W/m<sup>2</sup> K



200 mm trykfast mineraluld  
lagt ud på eksisterende tagpap  
2 lag tagpap

**Isolering  
Tagpap**



2 x 13 mm gipsplade med maling  
45 mm forskalling med mineraluld  
Dampspærre  
150 mm træskelet med mineraluld  
fastgjort til undersiden af skråtag

**Gipsplade  
Træskelet  
Isolering**



Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
µg R11/m<sup>2</sup> år

22 mm trægulv med behandling  
 Dampspærre  
 100 mm mineraluld mellem ekst. bjælker  
 100 mm forskalling med mineraluld  
 2 x 13 mm gipsplade med maling

**Trægulv  
 Isolering  
 Gipsplade**



**Dæk over kælder**

Ny isolering  $U = 0,19 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

50 x 50 mm ramme af træ  
 1-lags glas  
 Lavenergibelægning

**Fortsatsvindue  
 Glasrude**



**Vindue**

Nyt glas  $U = 3,70 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

**Primærenergiforbrug**  
 kWh/m<sup>2</sup> år

**Drivhuseffekt**  
 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år

**Nedbrydning ozonlaget**  
 µg R11/m<sup>2</sup> år

# Referenceliste

Aagaard, N-J., Brandt, E., Aggerholm, S. & Haugbølle, K. (2013) *Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi. SBI 2013:30*. København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

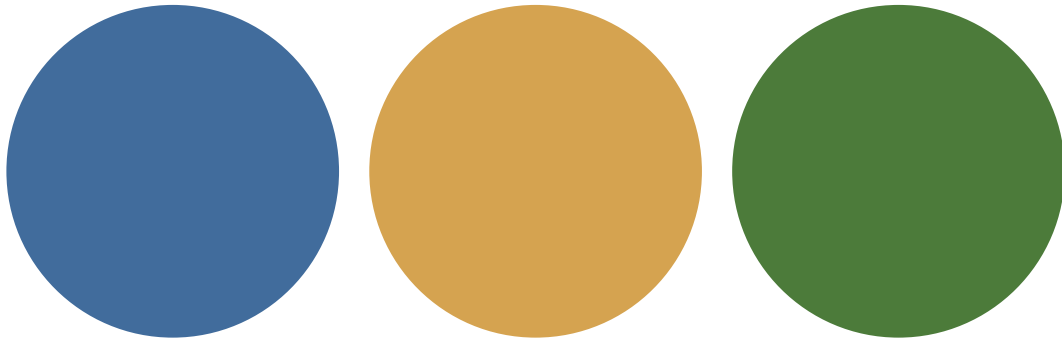
DK-GBC (2014) *Mini-guide til DGNB. Certificering af bæredygtigt kontorbyggeri i Danmark*. Frederiksberg, Green Building Council Denmark.

Dansk Standard (2011) *DS/EN 15643-2:2011 Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance*. Charlottenlund: Dansk Standard.

# Kolofon

<b>Titel</b>	LCA profiler for bygningsdele - et katalog til brug tidligt i designprocessen
<b>Udgave</b>	1. udgave
<b>Udgivelsesår</b>	2014
<b>Forfattere</b>	Rob Marsh & Freja Nygaard Rasmussen
<b>Sprog</b>	Dansk
<b>Sidetæl</b>	42
<b>Referencer</b>	s. 42
<b>Emneord</b>	Byggeri, bygningsdele, LCA-vurdering
<b>ISBN</b>	978-87-563-1620-0
<b>Layout &amp; design</b>	Rob Marsh
<b>Diagrammer</b>	Rob Marsh
<b>Udgiver</b>	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-Post <a href="mailto:sbi@sbi.aau.dk">sbi@sbi.aau.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

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



**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT**  
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN