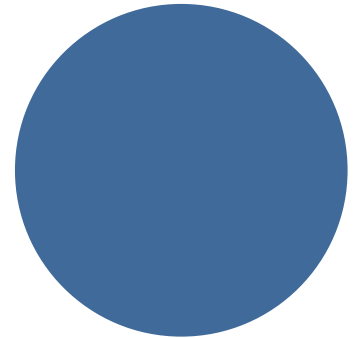
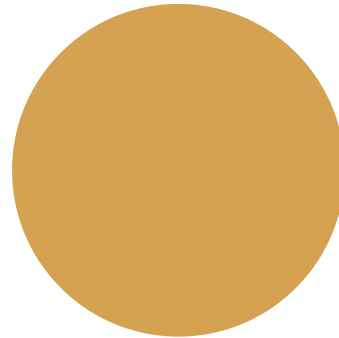
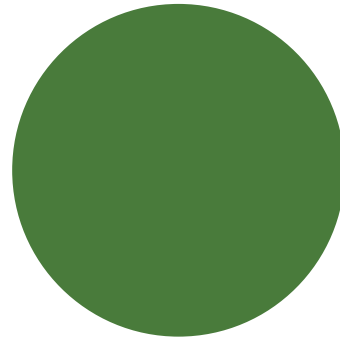


LCA-profiler for byggningsdele

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.

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

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

Bygningsdele og bæredygtighed?

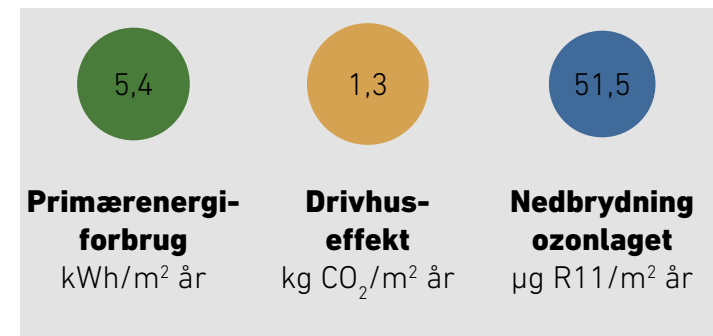
Dette katalog præsenterer et udpluk af de i alt ca. 800 LCA-beregninger, der er foretaget af følgende bygningsdele: ydervægge, tage, terrændæk, indervægge, etagedæk, fundamenter og kælderkonstruktioner. Formålet er at illustrere i hvor høj grad de strategiske valg tidligt i designprocessen har betydning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

LCA-profilerne for de enkelte bygningsdele indgår som én af mange brikker i en 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



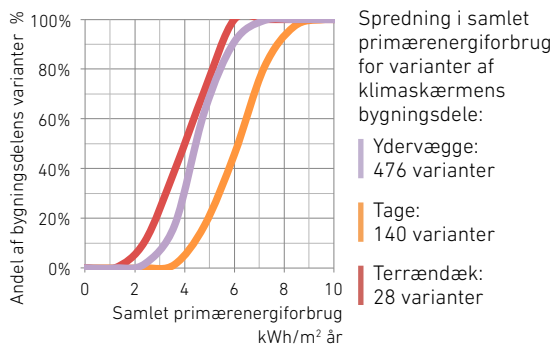
Der bruges otte kategorier for miljøpåvirkning og ressourceforbrug indenfor DGNB-systemet.

Som en del af dette katalogs udarbejdelse, er der blevet foretaget analyser af flere hundrede bygningsdeles LCA-profiler. Resultaterne viser, at der er et 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 fremgangsmåde som giver et hurtigt overblik tidligt i designprocessen.

Sæt mål for bygningsdele



Det totale primærenergiforbrug for klimaskærmens primære bygningsdele (ydervægge, tage og terrændæk) ligger typisk i spændet 1-10 kWh/m² pr. år over bygningens samlede levetid:

- Tage er højest: 3 - 10 kWh/m² år
- Ydervægge er midterst: 2 - 8 kWh/m² år
- Terrændæk er lavest: 1 - 6 kWh/m² 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.

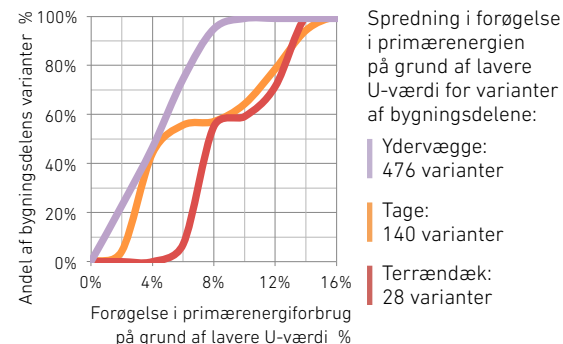
Vær opmærksom på alu/glasfacader



Glasfacader og glastag med aluminiumsprofiler fremviser LCA-profiler med væsentligt højere ressourceforbrug og potentiale for miljøpåvirkninger end andre bygningsdele, hvad 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 kravene til dagslysforhold, indeklima, driftsenergiforbrug og materialernes LCA-profiler balanceres.

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:

- Ydervægge: en reduktion fra 0,12 til 0,09 W/m² K forøger primærenergien med højst 10 % for alle varianter; gennemsnittet er kun 5 %.
- Tage: en reduktion fra 0,09 til 0,07 W/m² K forøger primærenergiforbruget med højst 16 % for alle varianter; gennemsnittet er 7 %.
- Terrændæk: en reduktion fra 0,09 til 0,07 W/m² 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 både 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 m² 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 | | |
| Produktion | Udvinning af råmaterialer | ✓ | ✓ |
| | Transport til fremstilling | ✓ | ✓ |
| | Materialefremstilling | ✓ | ✓ |
| Konstruktion | Transport til byggeplads | | |
| | Installation | | |
| Brug | Vedligehold/repairation | | |
| | Udskiftning | ✓ | ✓ |
| | Ombygning | | |
| | Energiforbrug til bygningsdrift | ✓ | |
| | Vandforbrug | | |
| End-of-Life | Nedrivning | | |
| | Transport til affaldsbehandling | | |
| | Affaldsbehandling | ✓ | ✓ |
| | Bortskaffelse | ✓ | ✓ |
| Næste produktsystem | 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 m² 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 CO₂-ækvivalenter

Nedbrydning af ozonlaget

Måles i R11-ækvivalenter

Fotokemisk ozondannelse

Måles i ethene-ækvivalenter

Forsuring

Måles i SO₄-ækvivalenter

Nærings saltbelastning

Måles i PO₄-ækvivalenter

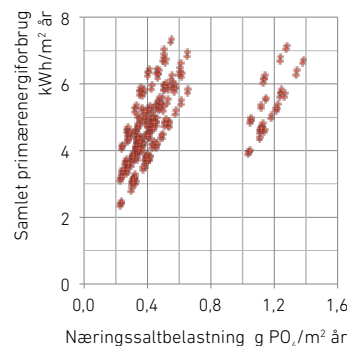
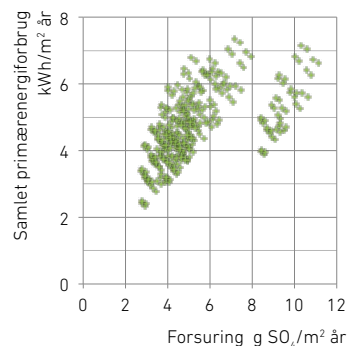
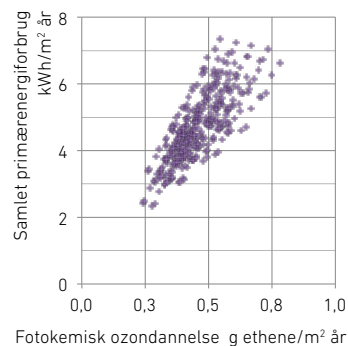
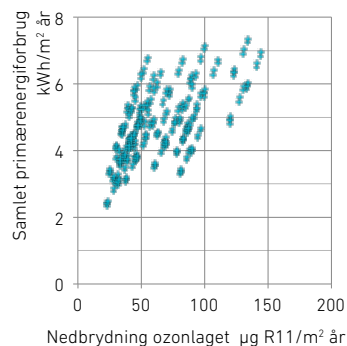
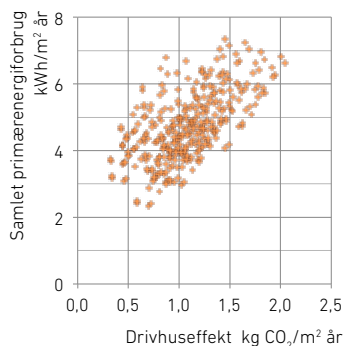
Ressourceforbrugskategorier

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 og 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 stadig væk brug for nedbrydning af ozonlaget som en særskilt kategori.

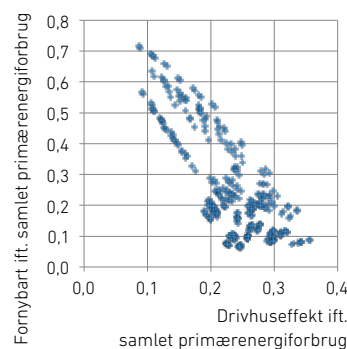
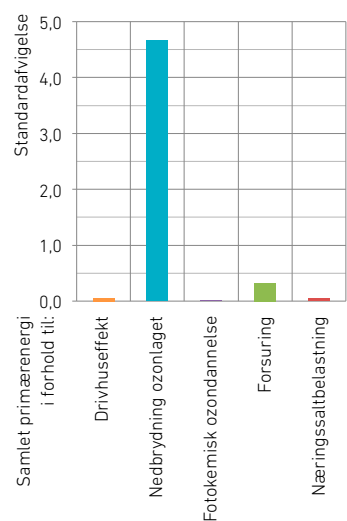
Samtidigt er der et reciprok forhold mellem drivhuseffekten og forbruget af fornybare energiresourcer, som vist i diagrammet nederst til højre på denne side. En lav drivhuseffekt vil højst sandsynligt betyde en større andel af fornybare energiresourcer for et givent samlet primærenergiforbrug.

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 af de væsentligste egenskaber, som profilen illustrerer.

Profilen for hver bygningsdel består af tre kategorier:

- Samlet primærenergiforbrug
- Drivhuseffekt
- Nedbrydning af ozonlaget.

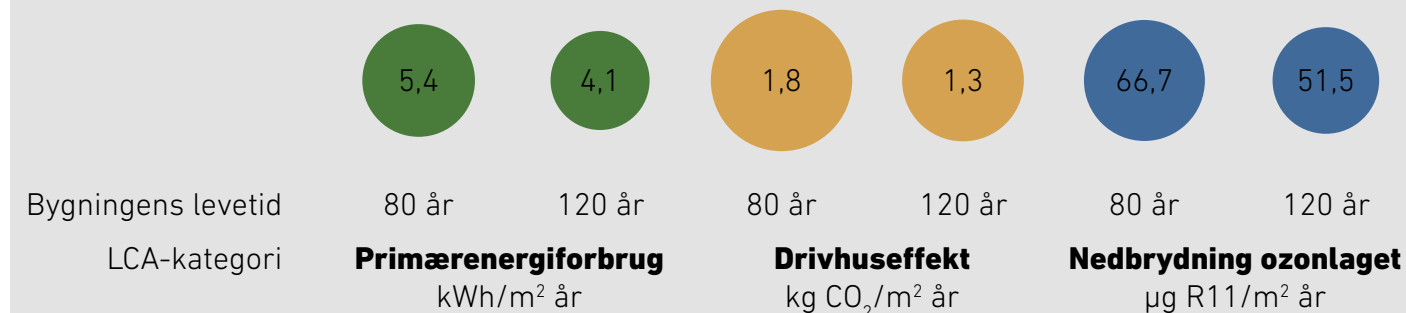
Hver kategori viser resultaterne for to levetider, hhv. 80 og 120 år, for bygninger. En uddybende beskrivelse af bygningers levetider findes på side 10-11.

Hver kategori er vist med en farvet cirkel. Arealet af cirklen viser omfanget 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 indebærer 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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

Primærenergiforbrug
kWh/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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

80 år

120 år

80 år

120 år

Primærenergiforbrug
kWh/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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 ² K: | 0,15 | 0,12 | 0,09 |

Tag af beton huldæk, isolering og membran

Isoleringstykkelser der giver:

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

Terrændæk af trægulv, beton og isolering

Isoleringstykkelser der giver:

| | | | |
|---------------------|------|--------|------|
| U-værdi: | Høj | Typisk | Lav |
| W/m ² 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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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 der 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 funktionelt lagdelte, 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**

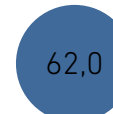
Ydervægge

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



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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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

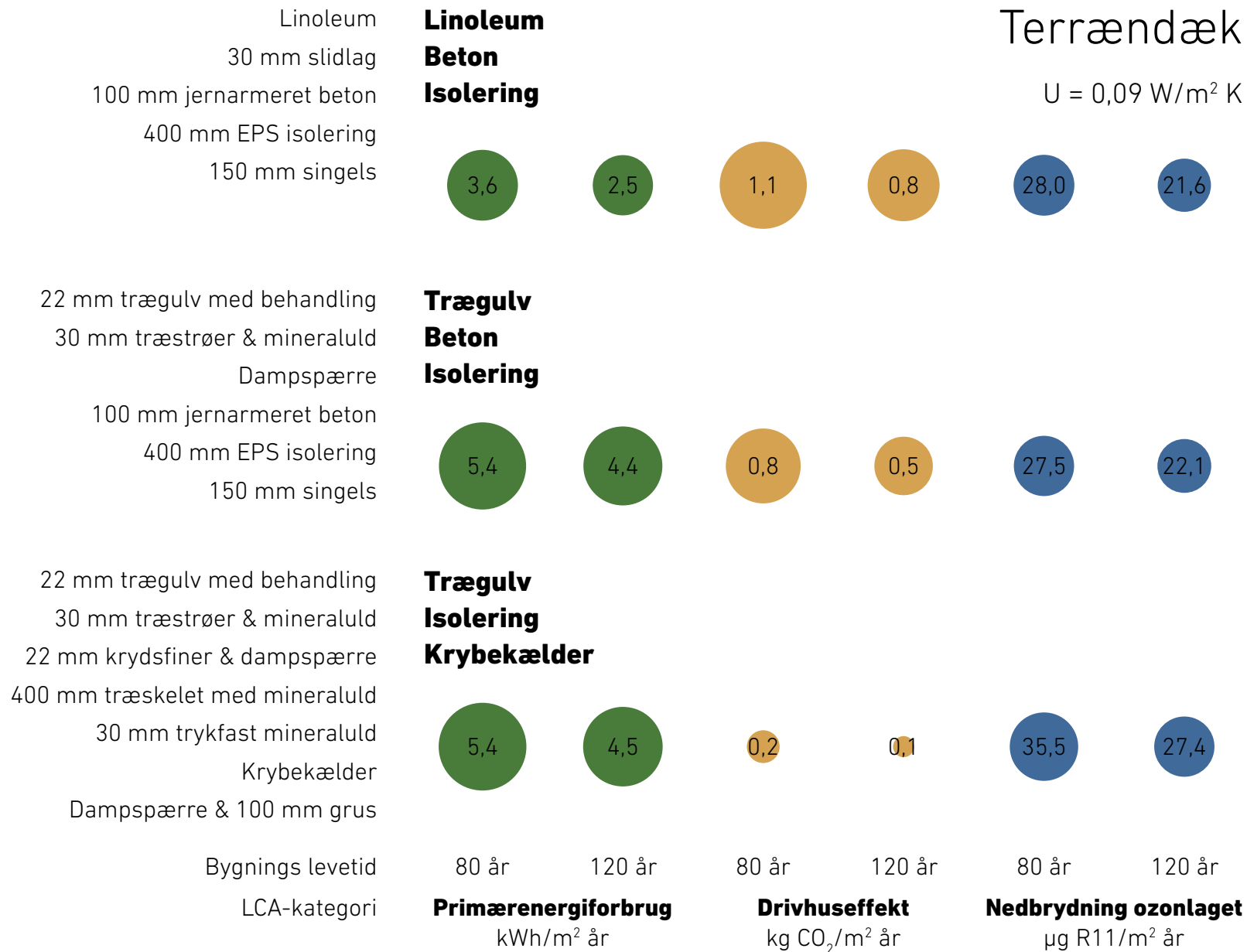
120 år

LCA-kategori

Primærenergiforbrug
 kWh/m² år

Drivhuseffekt
 kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
 µg R11/m² 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/m² år

Drivhuseffekt
 kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
 µg R11/m² 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 80 år 120 år 80 år 120 år

Primærenergiforbrug **Drivhuseffekt** **Nedbrydning ozonlaget**
 kWh/m² år kg CO₂/m² år µg R11/m² år

Åben eller lukket?

Brugen af glas kræver en designmæssig balancegang for at sikre bygningers dagslysforhold, solafskærmning, indeklima og energiforbrug. I den tidlige designprocess 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, kompositløsninger 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 indeklimateforhold.

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

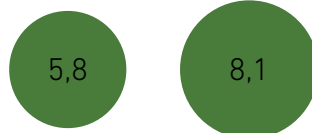
Aluminium glastag
Energirude
Fast solafskærmning

Vinduer

Glas U (W/m² K): 2-lag = 1,00; 3-lag = 0,50

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

Trævindue Energirude



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

2 lag

3 lag

2 lag

3 lag

2 lag

3 lag

Primærenergiforbrug
kWh/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² år

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

**Aluminium glasfacade
Energirude**

Glasfacade

Glas U (W/m² K): 2-lag = 1,00; 3-lag = 0,50



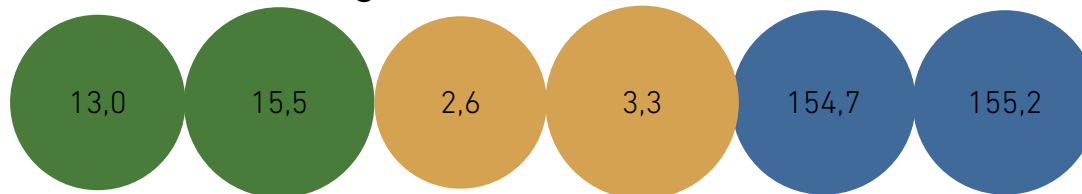
50 x 110 mm aluminiumsprofil
2-lags eller 3-lags energirude
Lavenergibelægning
Fast solafskærmning af aluminium

**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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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/m² K): 2-lag = 1,00; 3-lag = 0,50



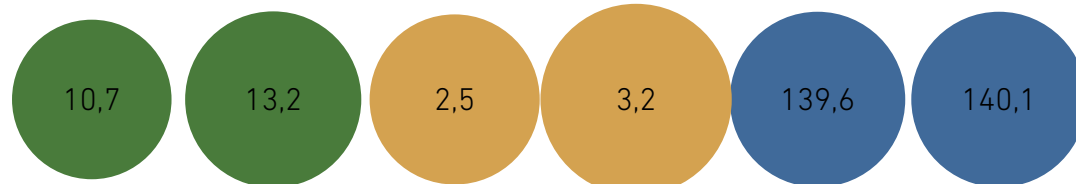
50 x 210 mm aluminiumsprofil
 2-lags eller 3-lags energirude
 Lavenergibelægning

**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/m² år

Drivhuseffekt
 kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
 µg R11/m² 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 de kan bidrage med som en del af den arkitektoniske udformning. Det er dermed et overordnet designparameter, om det ene eller det andet materiale vælges 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/m² K

Med træbeklædning

25 mm lærketræsbeklædning på trælægter



Med natursten

30 mm natursten på stålægter



Med zink

1 mm zinkplade på stålægter



Bygnings levetid

LCA-kategori

Primærenergiforbrug
kWh/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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/m² K

Med teglsten

43 kg/m² 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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² år

Terrændæk af beton og isolering

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

U = 0,09 W/m² K

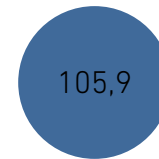
Med slidlag

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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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 specifikke 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 uopvarmede, 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 drivhuseffekten typisk er høj, 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 $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$**

3,6

2,4

1,5

1,0

28,5

19,3

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

4,7

3,2

2,2

1,5

37,7

25,5

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

3,8

2,8

1,7

1,2

35,3

26,4

Bygnings levetid

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

LCA-kategori

Primærenergiforbrug
 kWh/lb.m år

Drivhuseffekt
 kg CO₂/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**

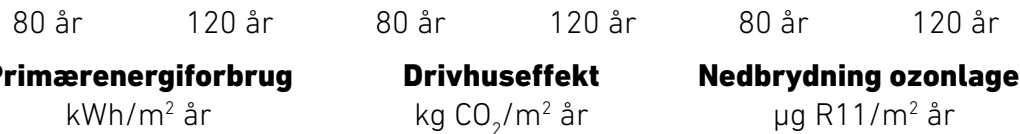


Maling
 200 mm jernarmeret beton
 Maling

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

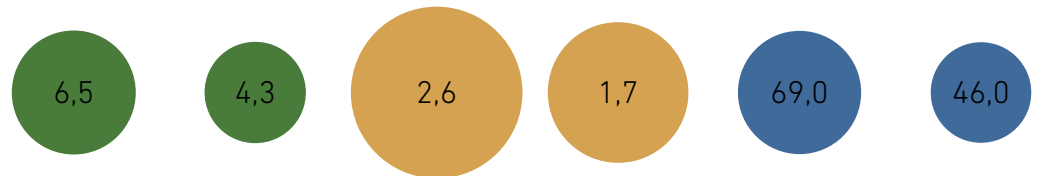
**Kældergulv
 med $U = 0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$**



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



Byggnings levetid
 LCA-kategori

80 år

120 år

80 år

120 år

80 år

120 år

Primærenergiforbrug
 kWh/m² år

Drivhuseffekt
 kg CO₂/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 nybyggeri 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

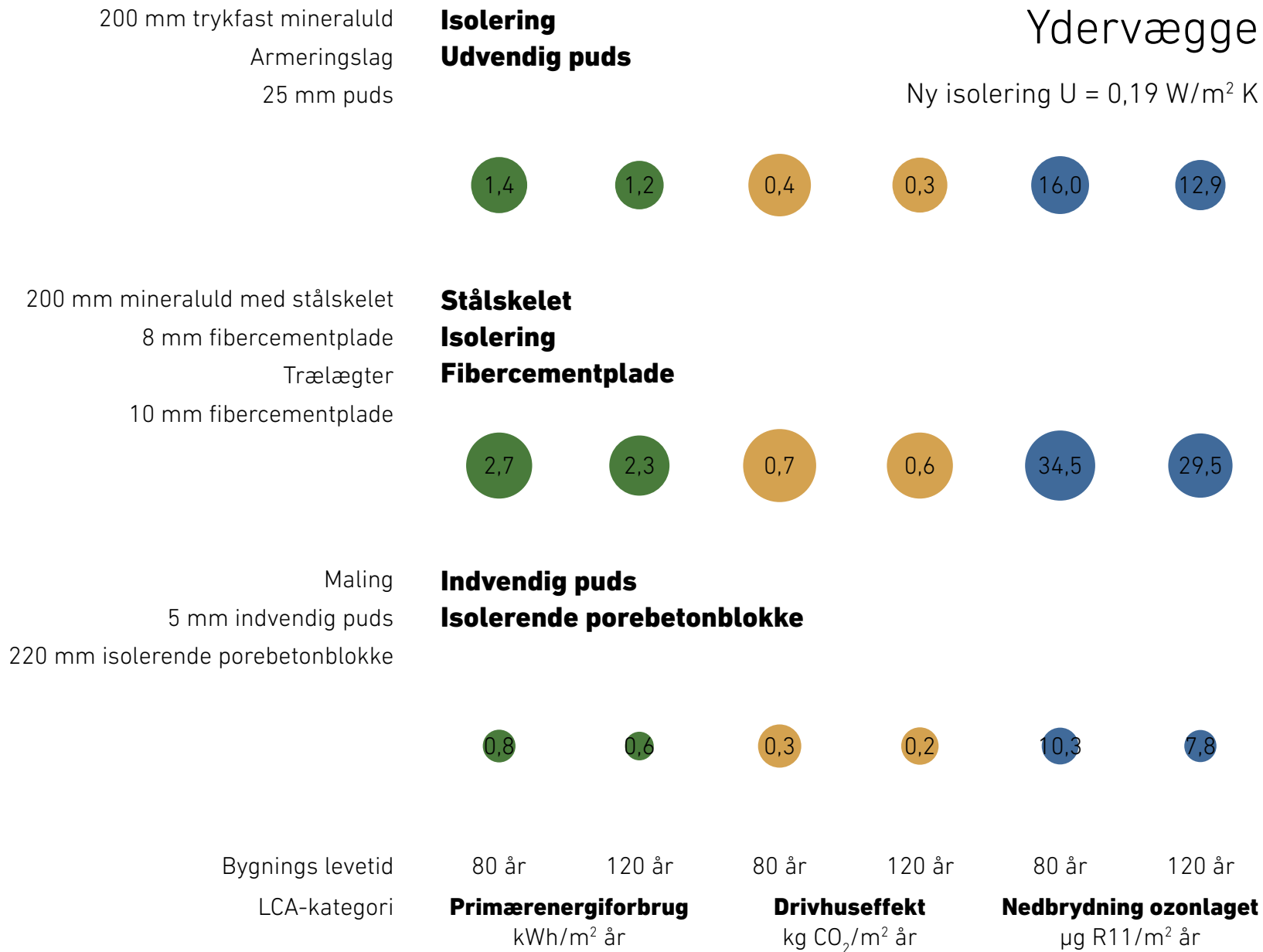
Gipsplade
Isolering
Træskelet

Dæk over kælder

Trægulv
Isolering
Gipsplade

Vindue

Forsatsvindue
Glasrude



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

**Papiruld til tagrum
Teglsten**

Tage

Ny isolering U = 0,19 W/m² 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/m² år

Drivhuseffekt
kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
µg R11/m² 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 W/m² K

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

**Fortsatsvindue
 Glasrude**



Vindue

Nyt glas U = 3,70 W/m² K

Bygnings levetid
 LCA-kategori

Primærenergiforbrug
 kWh/m² år

Drivhuseffekt
 kg CO₂/m² år

Nedbrydning ozonlaget
 µg R11/m² 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.

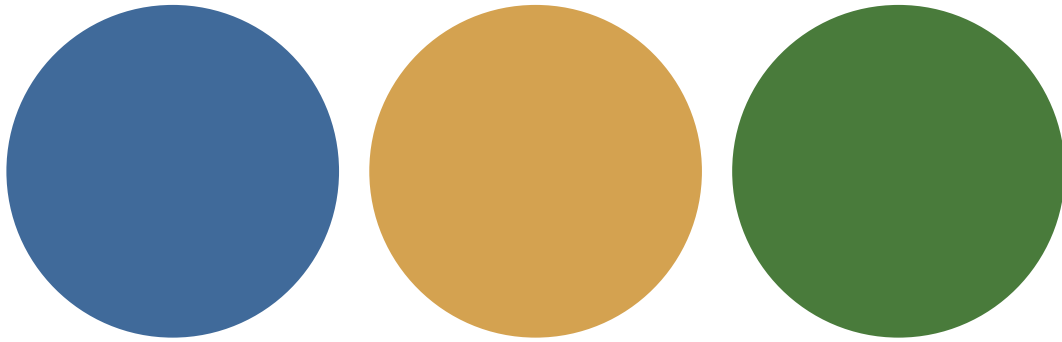
DK-GBC (2014) *Mini-guide til DGNB. Certificering af bæredygtigt kontorbyggeri i Danmark*. Frederiksberg, Green Building Council Denmark.

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

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

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



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN