



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Livscyklusvurdering af MiniCO2-husene i Nyborg**

Rasmussen, Freja Nygaard; Birgisdottir, Harpa

*Creative Commons License*  
Ikke-specificeret

*Publication date:*  
2013

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Rasmussen, F. N., & Birgisdottir, H. (2013). *Livscyklusvurdering af MiniCO2-husene i Nyborg*. Realdania Byg.

### **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.

# Livscyklusvurdering af MiniCO<sub>2</sub>-husene i Nyborg

---

Referencehus

Upcycle House

Det Vedligeholdelsesfri Hus A

Det Vedligeholdelsesfri Hus B

Det Foranderlige Hus

Kvotehuset

MiniCO<sub>2</sub>-typehuset

Livscyklusvurdering af MiniCO<sub>2</sub>-husene i Nyborg

Udarbejdet af Freja Nygaard Rasmussen og Harpa Birgisdóttir, Statens Byggeforskningsinstitut

En del af Realdania Byg's projekt MiniCO<sub>2</sub>-husene i Nyborg

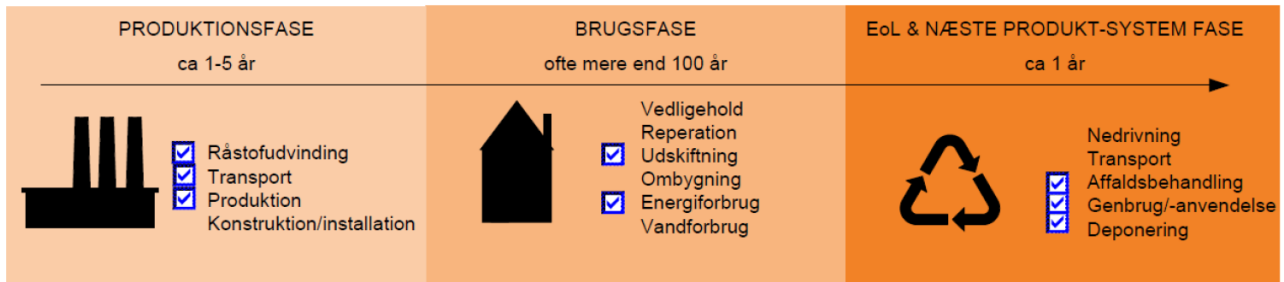
Oktober 2013



**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT**  
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

## Generelt om LCA på bygninger

Ved en livscyklusvurdering (LCA) af en bygning sammenregner man miljøpåvirkninger fra alle husets (og materialernes) livsfaser. Skemaet nedenfor viser de typisk inkluderede processer i en LCA af en bygning. Ofte simplificeres LCA'en og de mindre betydende livsfaser og processer ses bort fra, så det kun er de markerede der medtages.



I en LCA kan man regne på mange forskellige former for miljøpåvirkninger, fx i emissioner af ozonlagnedbrydende stoffer, næringssaltsbelastning, toksicitet eller ressourceforbrug. I LCA'en af MiniCO<sub>2</sub>-husene er fokus udelukkende på bidraget til global opvarmning som måles i kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

## CO<sub>2</sub>-udledningerne i bygningens livscyklus

CO<sub>2</sub>-udledningerne fra bygningen i løbet af dens livscyklus kommer dels fra byggematerialernes livscyklus og dels fra energiforbruget i bygningens levetid. Byggematerialernes livscyklus inkluderer udvinding af råstoffer samt produktion og transport af materialet, alle processer der udleder CO<sub>2</sub>. Denne samlede udledning kalder man for materialets indlejrede CO<sub>2</sub>. Dertil kommer så bortskaffelsen (End of Life) af materialet når det udskiftes eller når bygningen rives ned. Hvis materialet forbrændes udledes yderligere CO<sub>2</sub> og hvis det genanvendes indgår det som materiale i et nyt kredsløb. Hvis der er materialer i huset der efter endt brug kan genanvendes, fx metaller der kan smeltes om, tilfører genanvendelses scenariet en lille CO<sub>2</sub>-gevinst til regnskabet fordi man regner med at det genanvendte metal erstatter metal produceret af råstoffer. I LCA skelner man dog skarpt mellem miljøpåvirkninger fra de forskellige produktsystemer. Det betyder at miljøgevinsten ved materiale genanvendelse, for de fleste materialers vedkommende, er størst hvis man bruger genbrugte/genanvendte materialer som input i sit produktsystem snarere end hvis man sender potentielt genbrugelige/genanvendelige materialer ud af sit produktsystem til mulig brug i andre produktsystemer. Det er normal praksis inden for bygnings-LCA at bortskaffelsen af huset og dets materialer forventes at foregå ud fra nutidig praksis selvom det foregår langt ude i fremtiden. Der kan altså ikke tages højde for ikke-kommercielle/umodne teknologier til bortskaffelsen.

Eftersom alle bygningens livsfaser regnes med i en LCA sammenregner man CO<sub>2</sub>-udledninger fra både produktion, drift og bortskaffelse af huset som en enhed bestående af mange forskellige byggematerialer. I løbet af bygningens levetid vil der yderligere være materialer der skal udskiftes, og produktion af disse nye materialer samt bortskaffelsen af udtjente materialer inkluderes i det samlede CO<sub>2</sub>-regnskab.

Bygningens energiforbrug i form af varme og el udleder også CO<sub>2</sub>. Det er især energi produceret på fossile brændsler der er skyld i denne udledning, og det giver derfor god mening at minimere bygningens energiforbrug og at sørge for at energien kommer fra vedvarende kilder.

## Sammenligning af MiniCO<sub>2</sub>-husene - metodevalg

Mini CO<sub>2</sub>-husene er hver især konstrueret til at minimere CO<sub>2</sub>-udledningen på en specifik parameter som beskrevet i tabellen nedenfor. For at kunne vurdere effekten af tiltagene sammenlignes hvert enkelt MiniCO<sub>2</sub>-hus med en reference som er CO<sub>2</sub>-udledningerne fra et almindeligt dansk typehus. Det endelige MiniCO<sub>2</sub>-typehus skal på baggrund af erfaringerne fra de fem MiniCO<sub>2</sub>-huse samle alle gode erfaringer i design og konstruktion.

Fokus	Hvordan påvirkes CO <sub>2</sub> -regnskabet	Upcycle House	Det Vedligeholdelsesfri Hus A	Det Vedligeholdelsesfri Hus B	Det Foranderlige Hus	Kvote-huset	MiniCO <sub>2</sub> -typehuset
Genbrugs-materialer i konstruktionen	Formindsker mængden af indlejret CO <sub>2</sub>	X					X
Fleksibilitet i brugsfasen	Sænker forbruget af materialer til om- og udbygninger				x		X
Langtidsholdbare materialer og konstruktion	Sænker forbruget af udskiftede materialer		x	x			X
Brugeres reduktioner i energiforbrug	Sænker behovet for el og varme					x	x

Referencehuset præsenteres først i sit basisscenarie. Ved LCA'en af de enkelte MiniCO<sub>2</sub>-huse udbygges LCA'en på referencehuset hvor det er nødvendigt, så den også afspejler de funktioner som det enkelte MiniCO<sub>2</sub>-hus gør. Eksempelvis tilføjes referencehuset en tilbygning så CO<sub>2</sub>-emissionerne fra denne kan sammenlignes med muligheden for tilbygning i Det Foranderlige Hus.

Som bilag kan findes udførlige lister over materialemængder for de enkelte huse, materialernes levetider samt beskrivelser af scenarierne for materialernes bortskaffelse.

LCA'erne af MiniCO<sub>2</sub>-husene er udført på to forskellige perioder på hhv. 50 og 120 år. Den første periode på 50 år bruges som udgangspunkt til sammenligningen mellem de enkelte forsøgshuse og referencehuset. Perioden på 120 år bruges til at analysere materialerne i bygningen over husets forventede levetid. Analysen af materialer er for de vedligeholdelsesfrie huses vedkommende udført over 150 år som er disse to huses forventede levetid.

LCA-metoden benyttet til vurderingen af materialerne i MiniCO<sub>2</sub>-husene er lig den der benyttes af det danske DGNB certificeringssystem for bæredygtighed i bygninger. Metodevalget har indflydelse på afgrænsningen af systemet samt på valget af database med generiske datasæt for de forskellige materialer. I DGNB benyttes til vurderingen kun resultaterne over en 50-årig periode, men i sammenligningerne af MiniCO<sub>2</sub>-husene undersøges materialerne som sagt også i forhold til husenes forventede levetid på 120/150 år.

Den forventede levetid for et givent materiale, en bygningsdel eller en bygning som helhed afhænger af en række parametre: Den tekniske levetid, den funktionelle levetid, den økonomiske levetid og den æstetiske levetid. Følgende er uddrag fra en endnu ikke færdigbearbejdet version af SBI-rapport om bygningsdeles levetid ved vurdering af bæredygtighed.

Ved 'teknisk levetid' forstås den tid fra indbygning af bygningsdelen i bygværket, hvor bygningsdelen teknisk og fysisk er i stand til at opfylde sin oprindelige funktion. Den tekniske levetid bestemmes af påvirkninger og modstandsevne.

En bygningsdel skal besidde en række egenskaber, som giver den en ydeevne overfor påvirkninger og funktion, som skal bibeholdes i rimeligt omfang gennem bygningsdelens levetid. Fald i ydeevnen under et vist niveau for en eller flere af disse egenskaber, og som ikke kan genoprettes med vedligehold, vil være ensbetydende med, at levetiden er opbrugt.

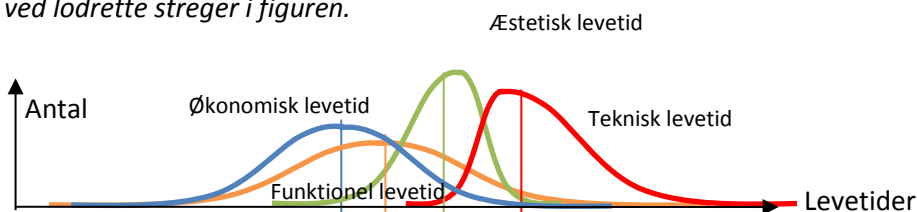
Ved 'funktionel levetid' forstås den tid fra indbygning af bygningsdelen i bygværket, hvor der er behov for bygningsdelens oprindelige funktion. Den funktionelle levetid bestemmes af samfundets udvikling i bred forstand, krav til ydeevne samt brugernes ønsker og behov.

Ved 'økonomisk levetid' forstås den tid fra indbygning af bygningsdelen i bygværket, hvor det totaløkonomisk er forsvarligt at vedligeholde og udskifte dele af bygningsdelen. Den økonomiske levetid kan ofte være kortere end den tekniske levetid. Den økonomiske levetid bestemmes af pris- og renteforhold.

Ved 'æstetisk levetid' forstås den tid fra indbygning af bygningsdelen i bygværket, hvor bygningsdelens æstetiske standard kan opretholdes. Den æstetiske levetid bestemmes af socio-tekniske og psykologiske forhold, fx kan den æstetiske levetid være til ende, når/hvis en bygningsdel patinerer på en grim måde eller hvis den ikke længere opfylder brugernes ønsker mht. udseende.

Den statistiske variation af levetider kan beskrives ved fordelingskurver som illustreret i figur 1, fx en normalfordeling, en student-t-fordeling, eller en Gumbel-fordeling. Fordelingerne kan være være symmetriske, skæve eller have flere 'pukler' alt efter de faktorer, der medvirker til bestemmelse af fordelingerne.

For hver af de nævnte levetider kan der angives en middellevetid af den pågældende type, som illustreret ved lodrette streger i figuren.



**Figur 1** Fordeling af levetider for en given bygningsdel.

### **Forenklet vurdering af faktisk middellevetid**

Baseret på ovenstående betragtninger kunne den faktiske levetid vurderes for hver enkelt bygningsdel efter følgende metode:

- Middellevetid og spredning vurderes for hver af de 4 konkurrerende levetider
- Hvis der skønnes grundlag for at vurdere fordelingerne bestemmes den resulterende faktiske levetid på grundlag heraf
- Hvis der skønnes ikke at være grundlag for at vurdere fordelingerne bestemmes den resulterende faktiske levetid uden forhåndsantagelser
- Den beregnede middellevetid afrundes efter nærmere regler

I betragtning af de mange usikkerheder, der ligger gemt i vurderingen af de enkelte middellevetider, forenkles vurderingsmetoden til følgende, idet nogle af de konkurrerende levetider i praksis er irrelevante for hovedparten af bygningsdele, fx er æstetisk levetid formentlig sjældent relevant for fundamenter i terræn:

- Økonomisk levetid: Ingen vurdering af middellevetid; kun vurdering af den relative betydning på den mindste af de vurderede relevante middellevetider. Kun relevant for Sfb-hovedgruppe 3-6.
- Æstetisk levetid: Ingen vurdering af middellevetid; kun vurdering af den relative betydning på den mindste af de vurderede relevante middellevetider. Kun relevant for Sfb-hovedgruppe 3 og 4, og for synlige bygningsdele i hovedgruppe 2.
- Funktionel levetid: For hver Sfb-bygningsdelsgruppe skønnes en funktionel middellevetid.
- Teknisk levetid: For hver bygningsdel og materiale skønnes en teknisk middellevetid, hvor alle tekniske levetidsfaktorer er 1. De vurderede tekniske middellevetider svarer således til tekniske referencelevetider.

Kilde: Aagard, 2013, *Levetider for bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU

Ovennævnte rapport tilhørende tabel for levetider er benyttet i projekt MiniCO<sub>2</sub>-husene.

Der er i projektet og CO<sub>2</sub>-beregningerne ikke foretaget specifikke vurderinger af de tiltag der i De Vedligeholdelsesfrie Huse fra arkitekternes side er angivet til at forlænge de to huses levetid. Ligeledes er der ikke foretaget vurderinger af hvorvidt de benyttede materialer i Upcycle House virkelig kan forventes at holde som nye materialer.

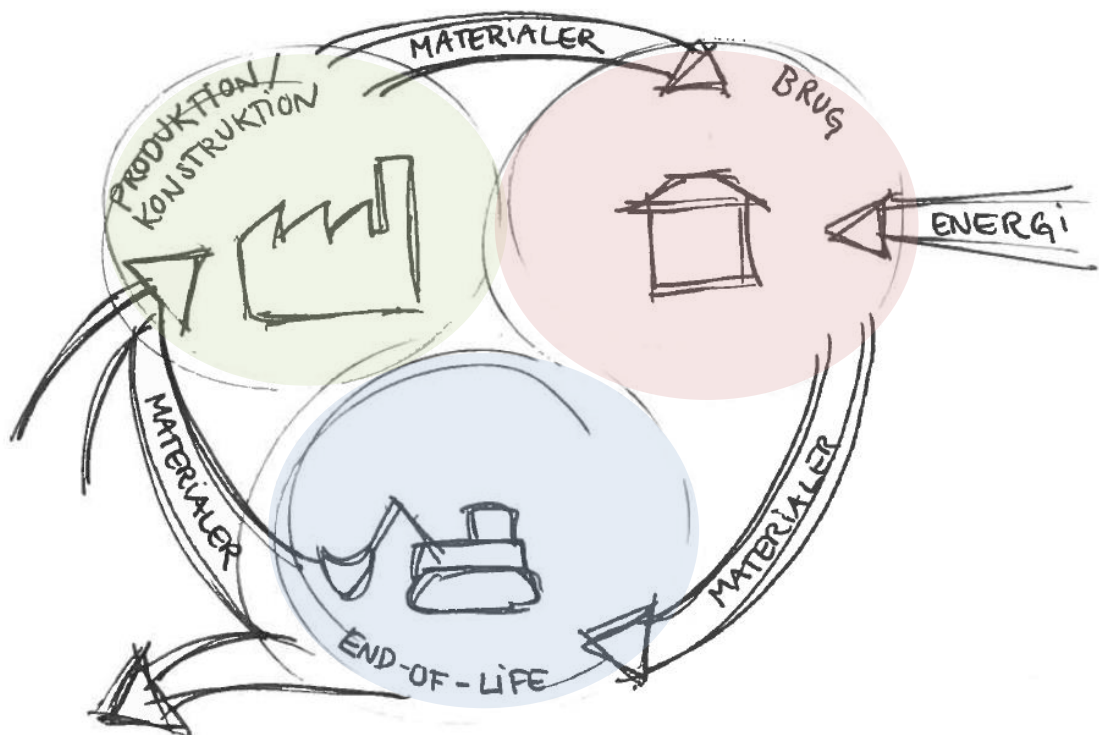
Sammenligningen af MiniCO<sub>2</sub>-husene er foretaget på husene i sig selv i en standardudgave, dvs der ses bort fra ekstra terrasseområder, carporte og fritliggende skure. Hvor ekstra konstruktioner er vurderet at have betydning for husets energiprofil (f.eks i form af solafskærmning) eller ydeevne (f.eks. i forhold til afskærmning af materialer for at opnå længere levetid) er disse dog medtaget i beregningerne.

Opgørelsen af de materialetyper og -mængder der er benyttet i husene er som udgangspunkt fremkommet fra arkitekternes side. Hvor oplysningerne har været utilstrækkelige i forhold til beregningerne er der foretaget estimater, som arkitekterne efterfølgende er blevet bedt om at gennemgå og godkende eller korrigere. En estimeret standardpakke af VVS- og elinstallationer er medtaget i beregningen af samtlige huse.

Ikke alle materialer findes i den benyttede generiske database under DGNB-ordningen, og i beregningerne er nogle datasæt derfor hentet ind fra repræsentative specifikke produkters miljøvaredeklarationer eller er konstrueret som hybrider af allerede eksisterende generisk data. Det fremgår af materialeopgørelsen i bilag 1 og 2 hvilke datasæt der er benyttet til hvilke materialer. Det kan ikke sikres at de eksternt indhentede datasæt følger den præcis samme systemafgrænsning som den generiske database. I de tilfælde hvor et enkelt datasæt er vurderet at have afgørende betydning for resultaterne er der derfor kommenteret i teksten ved de beskrivelsen af resultaterne for de enkelte huse.

Med baggrund i de ovenfor beskrevne forhold for opgørelser, datagrundlag og scenarier skal der derfor tages forbehold for usikkerhederne der er forbundet med at fokusere udelukkende på de præcise resultater for CO<sub>2</sub>-udregningerne på alle decimaler. CO<sub>2</sub>-beregningerne udført i denne analyse giver til gengæld et klart billede af betydningen af de forskellige parametre som MiniCO<sub>2</sub>-husene hver især undersøger og kan dermed, sammenholdt med en række nødvendige kvalitative vurderinger, pege frem imod de tiltag der mest effektivt understøtter idéen om et mere CO<sub>2</sub>-venligt parcelhusbyggeri.

# Referencehuset



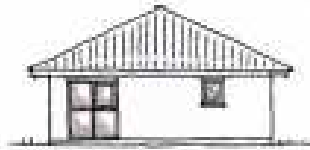


## Beskrivelse af huset

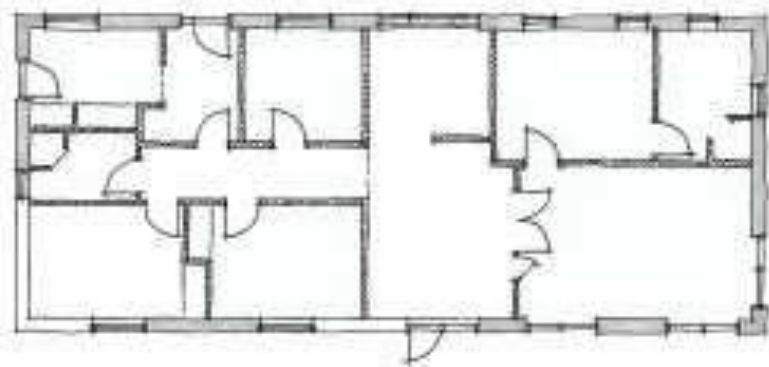
Huset er på 149,6 m<sup>2</sup> (brutto 162 m<sup>2</sup>) og er i ét plan bestående af stue, alrum, 4 værelser, køkken, bryggers og to baderum. Huset er med linjefundament, terrændæk af armeret beton, bagmur og skillevægge af letbeton, ydermur af murværk og tagbeklædning af betontagsten. Vinduer er 3-lags lavenergiruder i rammer og karme af træ. De indvendige vægge er pudsede og malede og loftsbeklædningen er i træ. I værelserne er der tæppe på gulvene og i stuen er der trægulv. I husets øvrige rum er gulvbeklædningen fliser eller klinker.



*Facade mod nord og syd*



*Gavle mod øst og vest*



*Plantegning*

Huset er bygget og isoleret så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

## Husets CO<sub>2</sub>-profil

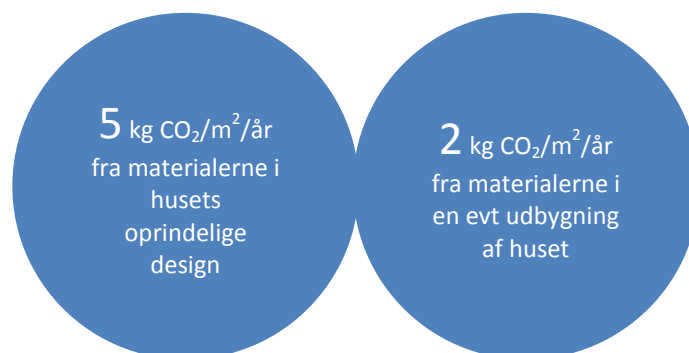
Den samlede CO<sub>2</sub>-belastning fra en boligs livscyklus kan deles op som stammende fra to hovedområder:

1. Bygningen
2. Forbrug og forsyning

Selve bygningens CO<sub>2</sub>-belastning afhænger af husets design og materialer:

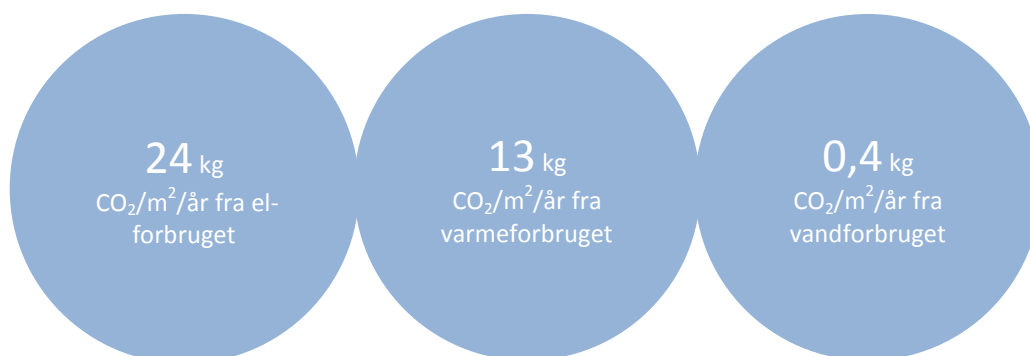
- Hvor stammer materialerne fra? Er det genbrugsmaterialer eller nye materialer?
- Hvor ofte skiftes materialerne ud? Har materialer og komponenter lang eller kort holdbarhed?
- Vil huset undergå større fysiske forandringer? Skal der bygges ud eller rives ned?

For et almindeligt nybygget typehus er CO<sub>2</sub>-belastningen relateret til bygningen typisk som følger over en 50-årig periode:



CO<sub>2</sub>-belastningen fra forbrug og forsyning afhænger i meget høj grad af husets beboere og deres adfærd, men også af nogle ydre faktorer:

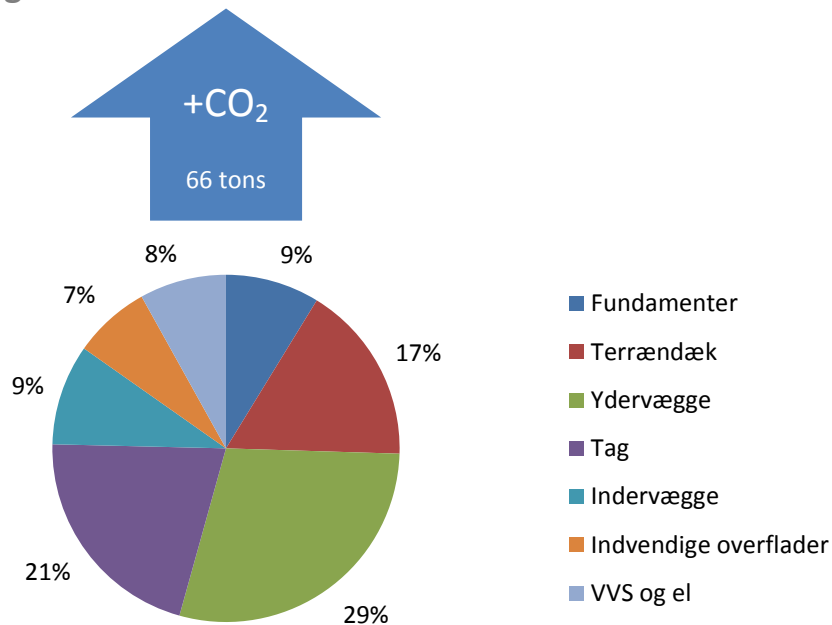
- Hvor varmt/køligt vil beboerne gerne have det i deres hus?
- Hvor mange el-forbrugende apparater benyttes i husstanden?
- Er der energiproducerende enheder tilknyttet bygningen (eksv. solceller, varmepumpe) eller købes al energien fra en ekstern forsyning?



## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

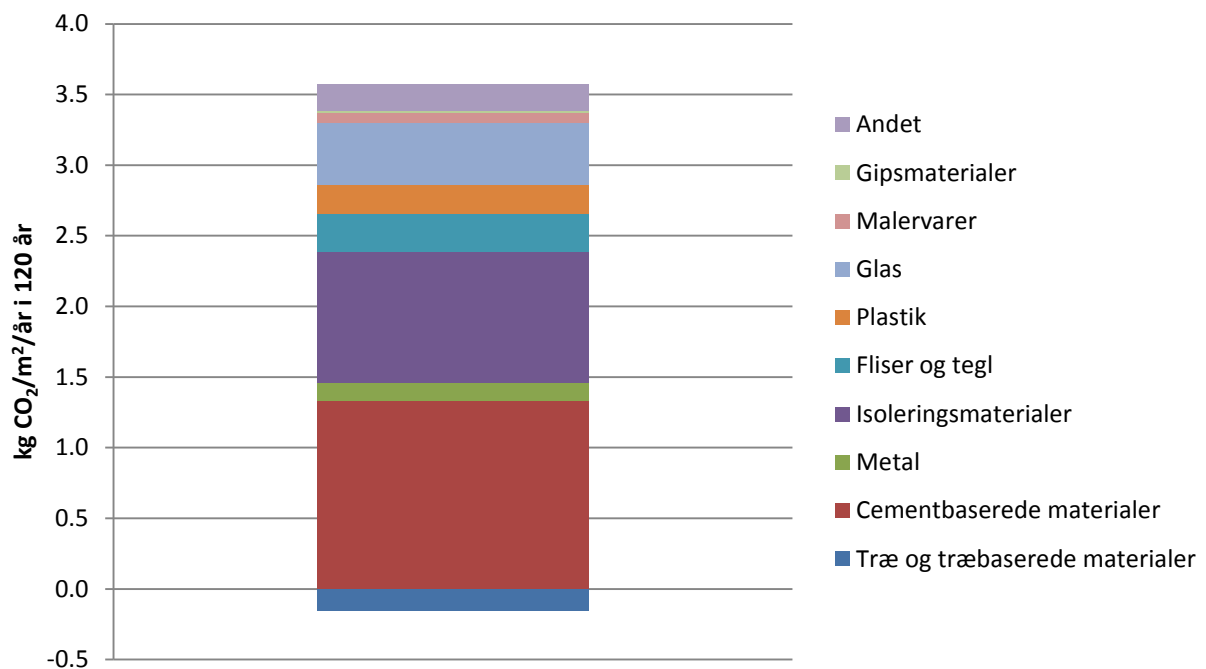
Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for referencehusets 120-årige levetid samlet set 66 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 413 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse over en periode på 120 år kan aflæses af figuren nedenfor.



## Bemærkninger til materialeopgørelsen

Referencehuset er det gennemsnitshus som beregningskernen i BE10 beregningsprogrammet er bygget op omkring.

Materialeopgørelsen for referencehuset er udført ud fra en bygningsbeskrivelse fra firmaet bag typehuset. Af beskrivelsen fremgår materialevalget til de primære konstruktioner samt overflader i huset. Arealer og længdemål for husets klimaskærm er taget fra BE10-beregningen ligesom det forventede energiforbrug også er herfra. Typehuset er som udgangspunkt et BR10-hus og for at opfylde LE15-kravene er opgørelsen lavet med ekstra isolering iht eksempelbeskrivelse fra SBI.

Huset består mestendels af velkendte og traditionelle byggematerialer, og materialerne fra den generiske database er derfor benyttet uden videre justering (se evt opgørelseslisten i bilag 1)

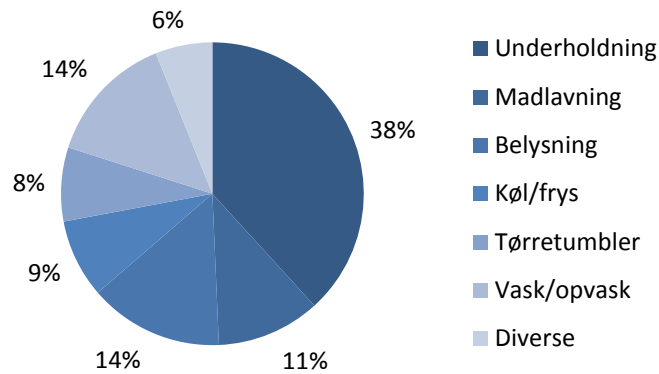
## Bemærkninger til resultaterne

Fra materialernes samlede udledning på 66 tons CO<sub>2</sub> over en 120-årig periode er det de bærende elementer der bidrager med mest. Således er mere end 75 % af udledningerne relateret til konstruktion, udskiftning og EoL i de bærende dele af bygningen.

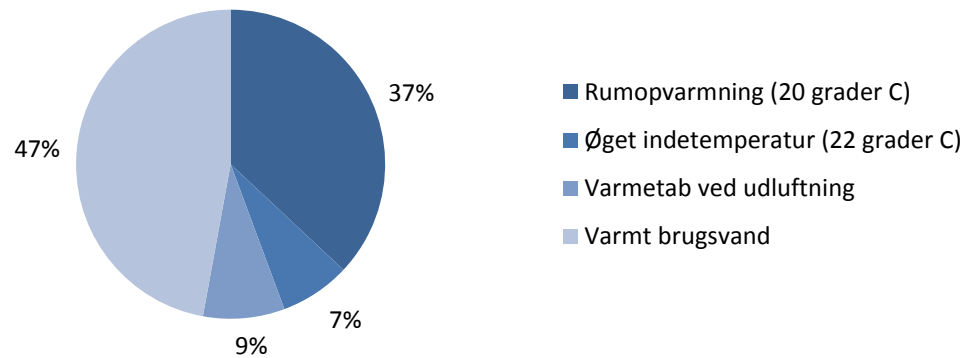
Cementbaserede materialer (beton, letbeton, mørtel) og isoleringsmaterialer udgør 70 % af materialernes samlede CO<sub>2</sub>-udledning over 120 år. Udskiftningen af termoruder hvert 25. år gør samtidig materialekategorien glas til den tredje mest CO<sub>2</sub>-bidragende materialekategori med 15 % af de samlede udledninger fra materialerne. Konstruktionstræ benyttet i tagkonstruktionen bidrager samlet set med en CO<sub>2</sub>-besparelse i regnskabet. Denne besparelse bunder i antagelsen i den benyttede metode at træet dels binder den mængde CO<sub>2</sub> der er brugt til træets vækst, og dels ved fældning af træet erstattes af et nyplantet træ.

## Hvorfra kommer forbrugets CO<sub>2</sub>-udledninger?

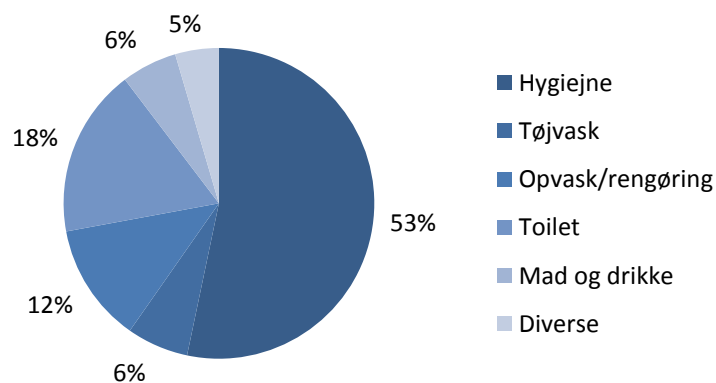
### El-forbruget



### Varmeforbruget



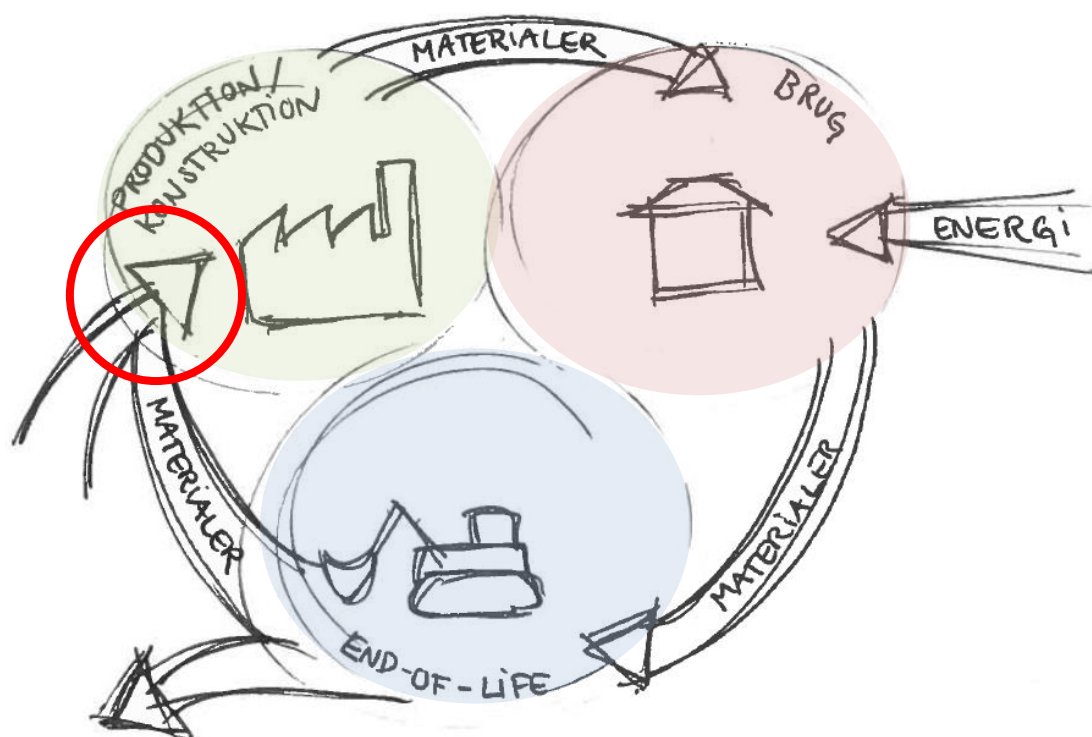
### Vandforbruget



Beregninger på CO<sub>2</sub>-udledninger fra forbruget er estimeret med baggrund i tidligere udførte analyser af MOE Rådgivende Ingeniører med udgangspunkt i emissionstal fra el-, varme- og vandforsyningen i Nyborg.

# Upcycle House

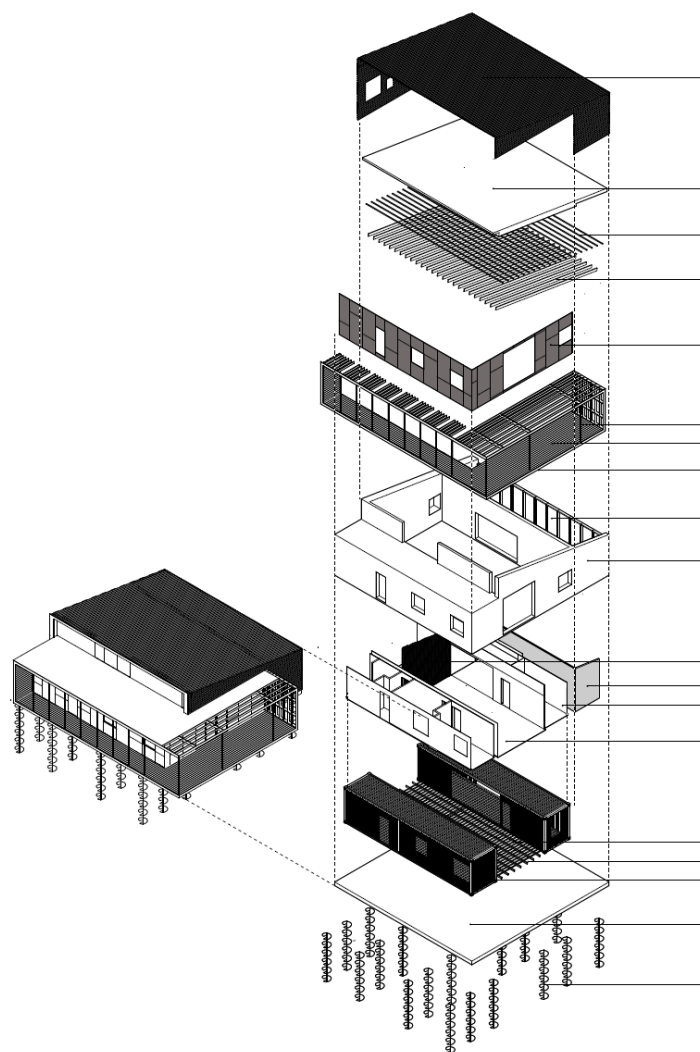
Fokus på genbrug af byggematerialerne



## Beskrivelse af huset

Huset er på 104 m<sup>2</sup> (brutto 129 m<sup>2</sup>) og er i ét plan bestående af stue, køkken/alrum, 4 værelser, bryggers, svalekammer og ét baderum. Derudover er udendørs terrasse og væksthuse bygget på som en integreret del af huset. Huset er funderet med skruefundamenter og benytter to 40-fods High Cube fragtcontainere som bærende konstruktionselementer. Taget er beklædt med aluminiumsplader og facaden er beklædt med kompositmaterialer. Som isolering er brugt papiruld i både vægge og loft. Containerne er indvendigt beklædt med OSB træ-plader i gulv og vægge. Vinduer i klimaskærmen er 3-lags lavenergigiruder.

Samtlige komponenter i huset er udvalgt så de enten er genbrugt direkte (eksempelvis et kasseret vindue som benyttes som vindue i Upcycle House) eller materialegenanvendt (eksempelvis papiraffald der benyttes i produktionen af facadeelementerne).



(Lendager Arkitekter 2013)

Huset er bygget og isoleret så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

0,7

5

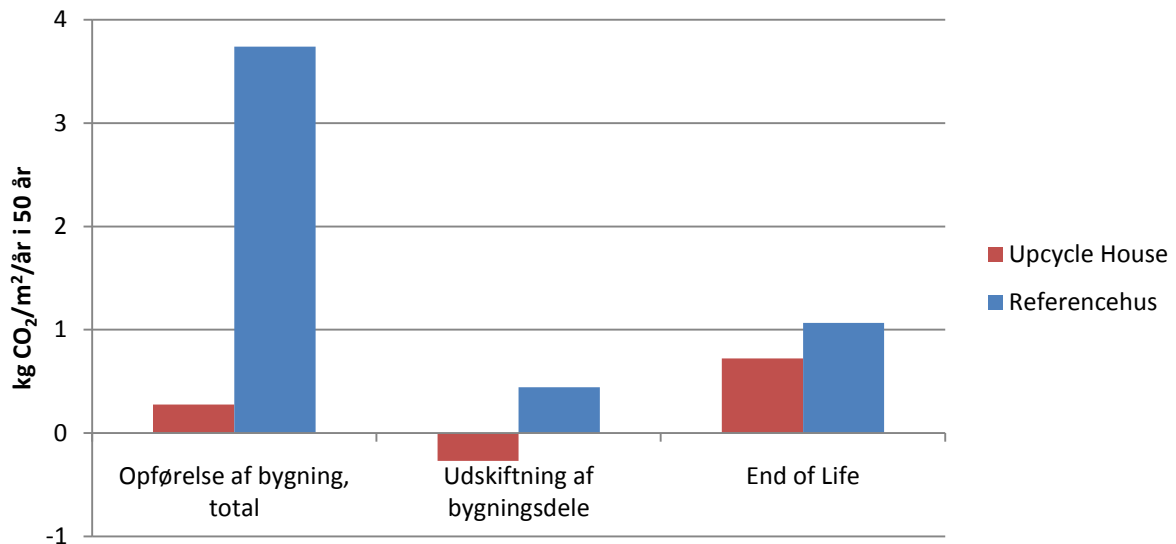
## Upcycle vs Reference

CO<sub>2</sub>-udledningen fra Upcycle House's materialeforbrug til konstruktionen er 86 % mindre end Referencehusets. Konstruktionen i Upcycle House udleder over en periode på 50 år kun 0,7 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år mod Referencehusets 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år.

## Husets særkende: Genbrugsmaterialer

Upcycle House har en lav CO<sub>2</sub>-belastning fra konstruktionen i forhold til et almindeligt typehus. Det skyldes at brugen af upcycledede materialer i konstruktion ikke indebærer så stor en CO<sub>2</sub>-belastning som nyproducerede materialer. I figuren nedenfor kan man se CO<sub>2</sub>-bidragene fra af de materiale-relaterede livscyklusfaser i Upcycle House og et referencehus.

Brugen af træ bidrager med en CO<sub>2</sub>-gevinst i en livscyklusvurdering af bygningen. Det er derfor at udskiftningerne i Upcycle House sparer CO<sub>2</sub> i det samlede regnskab. Til gengæld udledes alt CO<sub>2</sub>'en som er bundet i træet hvis træet forbrændes når bygningen rives ned. Det er derfor at End-of-Life er relativt høj for Upcycle House.



## Hvis materialerne ikke var upcycledede

Den lave CO<sub>2</sub>-belastning fra Upcycle House-konstruktionen er betinget af at materialerne er enten genbrugte eller genanvendte, men selv hvis samtlige materialer anvendtes fra nye, ville CO<sub>2</sub>-profilen fra materialerne stadig være bedre end for et almindeligt typehus. Den samlede udledning fra husets materialer ville så være 3 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år over en periode på 50 år.

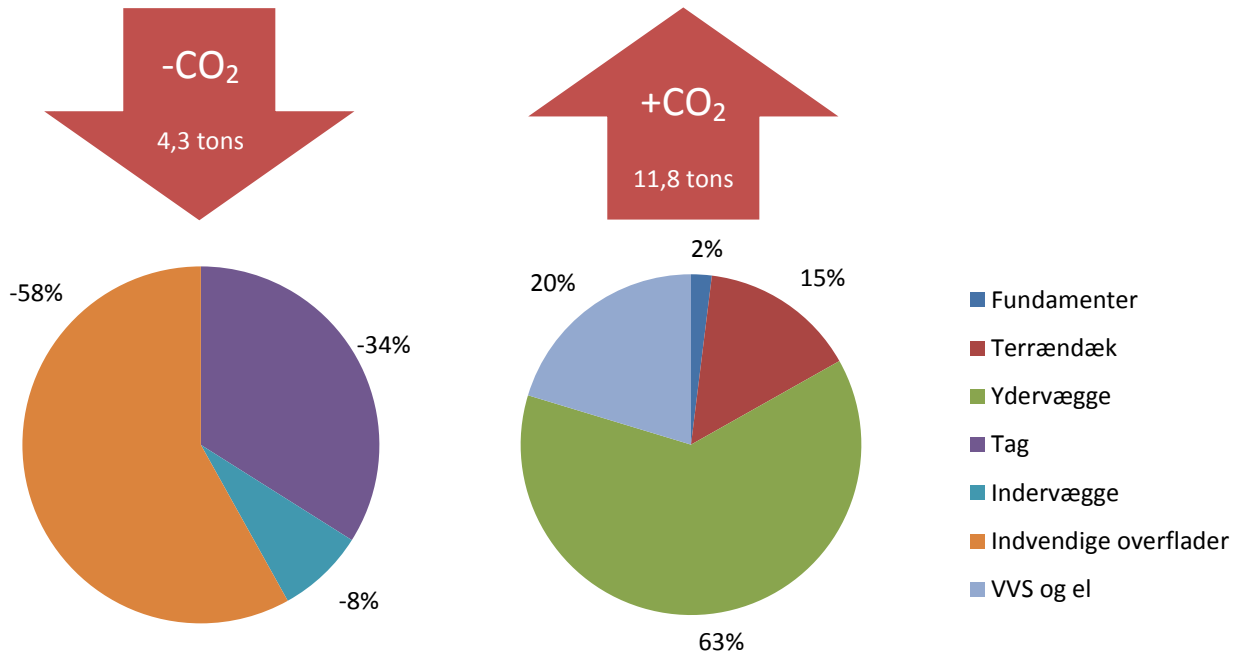
Den nævnte fordeling ved brug af nye materialer skyldes dog udelukkende at brugen af papiruld fortsat giver en CO<sub>2</sub>-gevinst. Hvis man udskiftede papiruldisoleringen med mineraluld ville husets CO<sub>2</sub>-profil ligge på niveau med referencehusets fordi der benyttes så meget metal i Upcycle House. Eksemplerne med brug af nye materialer i konstruktionen er dog teoretiske, idet det ikke er realistisk at forestille sig en container der fremstilles kun til det formål at skulle benyttes i konstruktion af et hus.



## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

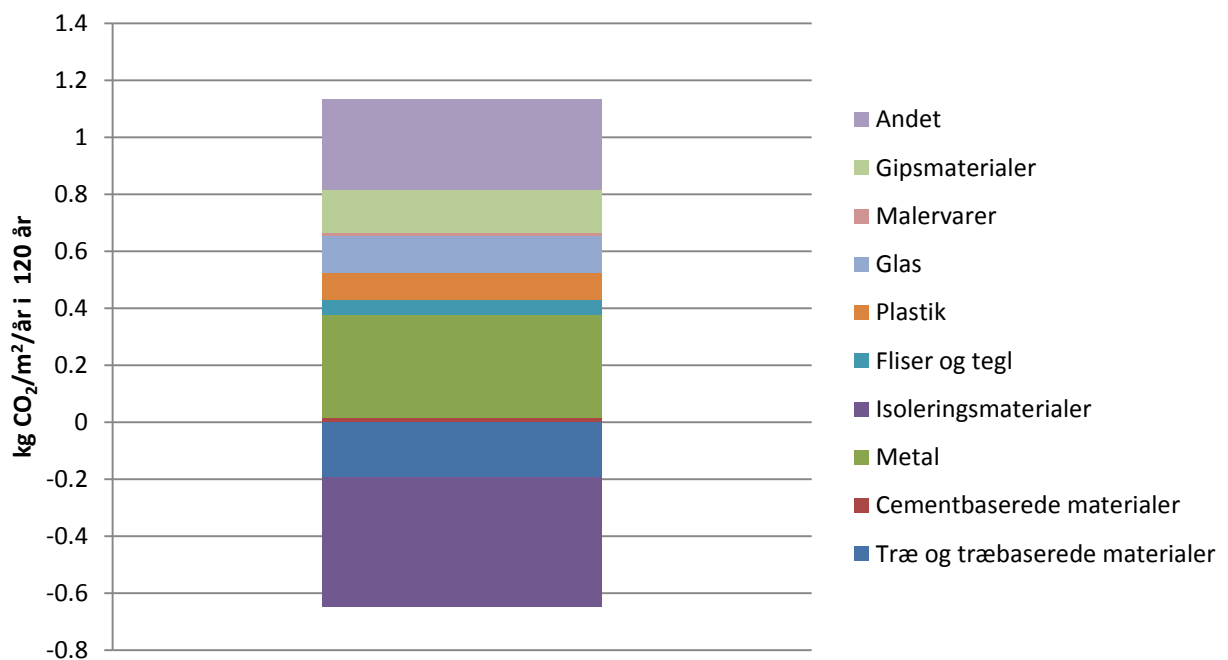
Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for Upcycle House's 120-årige levetid samlet set 7,5 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 58 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse over en periode på 120 år kan aflæses af figuren nedenfor.



## Bemærkninger til opgørelsen

Materialetyper, -mængder og arealer i opgørelsen af Upcycle House stammer primært fra arkitektens tegninger samt fra BE10-beregningerne.

Den reducerede miljøbelastning ved benyttelsen af upcycledede materialer er udregnet på baggrund af den økonomiske værdi som materialet repræsenterer som hhv nyt og genbrugt/genanvendt. Metoden til beregning af CO<sub>2</sub>-udledningen fra upcycledede materialer er udviklet under Danmarks Tekniske Universitet. Faktorerne som er benyttet til beregningen af den reducerede miljøbelastning fremgår af opgørelseslisten i bilag 1.

Levetider på de upcycledede materialer antages at være de samme som hvis materialerne havde været nye. Der regnes altså ikke med at materialerne skal udskiftes tidligere blot fordi de er upcycledede.

## Bemærkninger til resultaterne

At bidraget fra de bygningsrelaterede processer i Upcycle House er så meget lavere end i referencehuset skyldes:

- Benyttelsen af upcycledede materialer som har langt lavere miljøpåvirkning end nye materialer
- Benyttelsen af store mængder træ og træbaserede materialer i konstruktionen som bidrager med en CO<sub>2</sub>-gevinst, altså en besparelse, i det samlede regnskab over udledningerne

Den store mængde træ som giver en CO<sub>2</sub>-gevinst i Upcycle House forekommer dels i form af konstruktionstræ men især også som det træ som benyttes som beklædning inde i huset. Derudover bidrager papirulden med en meget stor CO<sub>2</sub>-gevinst til det samlede regnskab. Besparelsen er under forudsætning af at papirulden genanvendes efter udtjent levetid som isoleringsmateriale i huset.

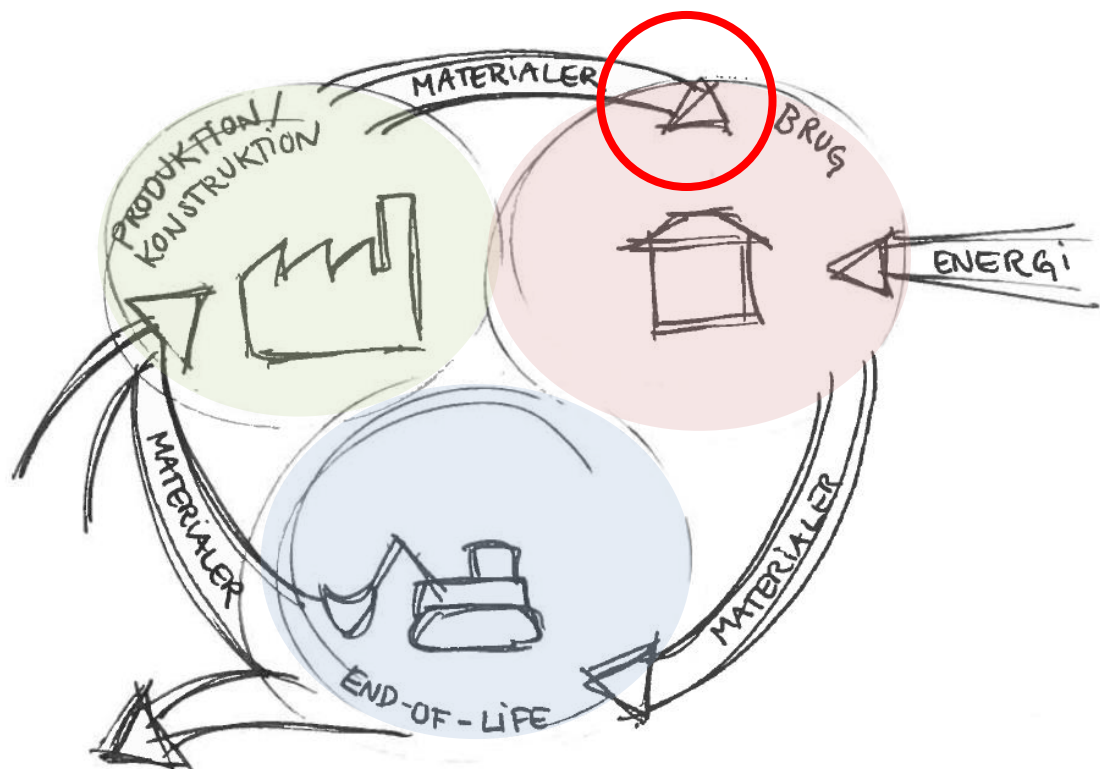
Materialerne til Upcycle House er udvalgt med tanke for materialekredsløbet, og det er derfor muligt at en stor del af materialerne atter kan genanvendes/genbruges efter endt levetid i huset. På grund af begrænsninger i datasættene har scenarieopbygning for sådan fremtidig genanvendelse/genbrug ikke været muligt for samtlige materialer. Hvis alle materialer genanvendes/genbruges vil CO<sub>2</sub>-bidraget fra EoL falde yderligere. Af opgørelseslisten i bilag 1 fremgår de EoL affaldsstrømme som de enkelte materialer i modelleringen ledes til.



# Det Vedligeholdelsesfri Hus A

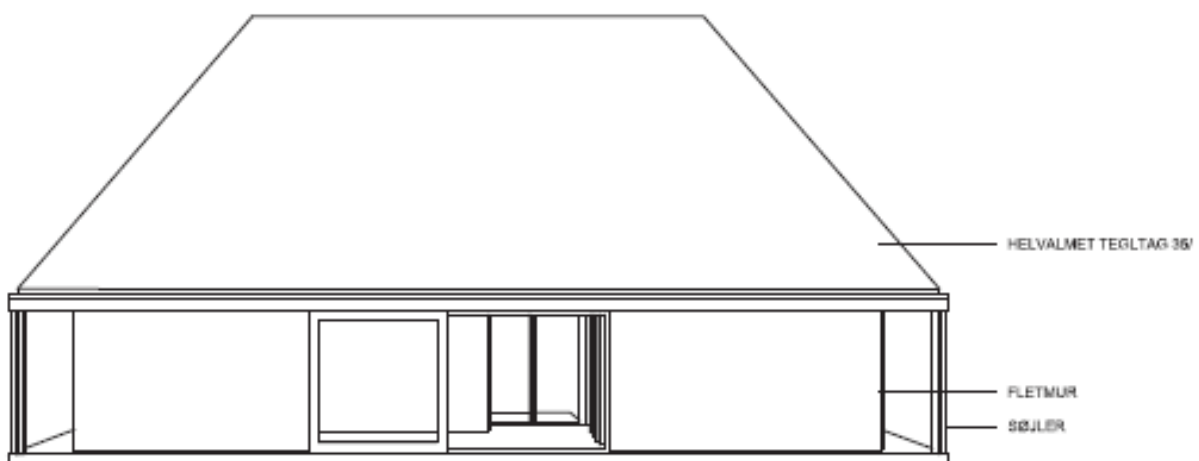
## - Tradition

Fokus på minimering af materialevedligehold



## Beskrivelse af huset

Huset er på 114 m<sup>2</sup> (brutto 136 m<sup>2</sup>) og er i ét plan med køkken/alrum, bad og 3 værelser. Hertil kommer et teknikrum. Huset er bygget med fletmurværk bestående af teglblokke som bagvæg og almindelige teglsten i facaden. Opbygningen af ydervæggen overflødigger en mellemliggende isoleringskerne. Taget er beklædt med vingefalstagsten og er konstrueret uden gennembrydninger af ovenlys e.l. Taget skaber et udhæng rundt langs hele husets facade. Indvendigt er huset beklædt med trægulv og –loft. Indervægge fremstår til dels som pudsede teglblokke og til dels som rå teglblokke.



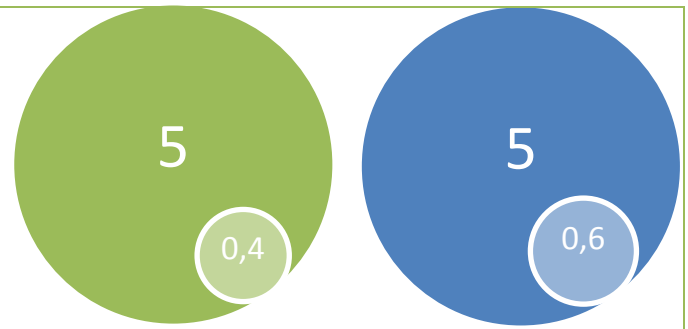
*Leth & Gori arkitekter, 2012*

Huset er bygget så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

## Vedligeholdelsesfri A vs Reference

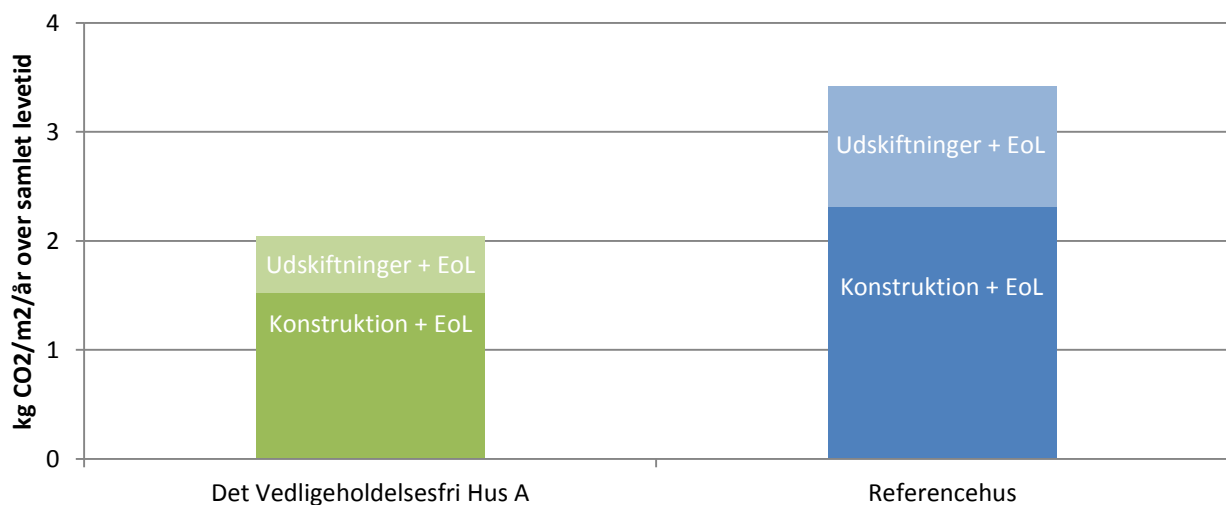
CO<sub>2</sub>-udledningen fra materialeforbruget til konstruktionens livscyklus i Det Vedligeholdelsesfri Hus A ligger på linje med Referencehusets (5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i

en periode på 50 år). I Det Vedligeholdelsesfri Hus A beløber udskiftningen af materialer sig regnet over 50 år til ca. 0,4 kg af disse 5 kg CO<sub>2</sub> mod ca. 0,6 kg af de 5 kg i Referencehuset.



## Husets særkende: Vedligeholdelsesfri og lang levetid

Det Vedligeholdelsesfri Hus er konstrueret til at kunne stå i 150 år og samtidig at sikre et minimum af vedligehold over husets samlede levetid som altså forventes at være 30 år længere end Referencehusets 120 år. Kigger man på CO<sub>2</sub>-belastningen fordelt over husets samlede levetid er tallet for Det Vedligeholdelsesfri Hus A ca. 2 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år og for Referencehuset næsten 3,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år. Dette er illustreret i nedenstående figur. Heraf fremgår også hvor stor en del af belastningen der skyldes udskiftningen af materialer.

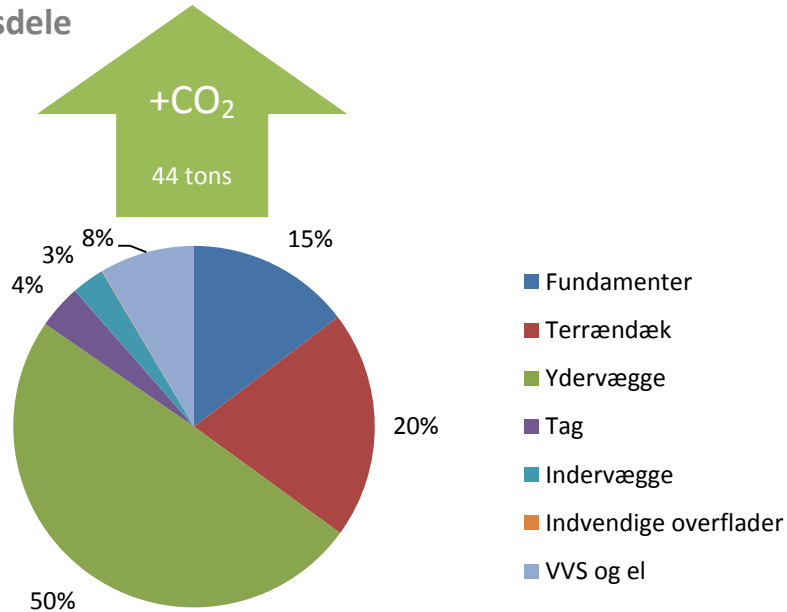


Når man ser på resultaterne over en 50-årig periode er Det Vedligeholdelsesfri Hus A CO<sub>2</sub>-mæssigt lige så dyrt som et almindeligt typehus. Det skyldes primært det store forbrug af det energitunge materiale tegl, der benyttes i både for- og bagmur samt i tagbeklædningen på Det Vedligeholdelsesfri Hus A. Men med en sådan langtidsholdbar konstruktion i tegl er CO<sub>2</sub>-belastningen over den samlede levetid på 150 år væsentligt mindre end tilsvarende over Referencehusets forventede levetid på 120 år.

## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

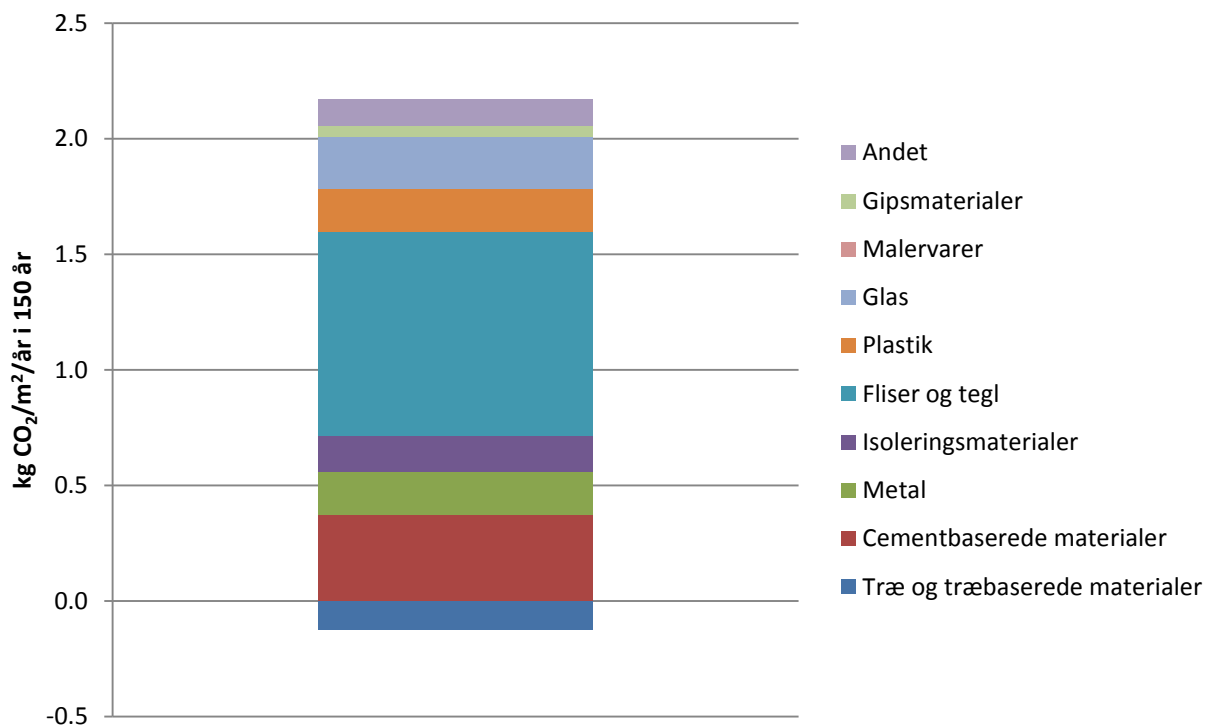
Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for Det Vedligeholdelsesfri Hus' 150-årige levetid samlet set 44 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 320 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse kan aflæses af figuren nedenfor.



## Bemærkninger til opgørelsen

Materialetyper, -mængder og arealer i opgørelsen af Det Vedligeholdelsesfri Hus A stammer fra arkitekttegninger og -materiale, oplysninger fra arkitekten selv samt fra BE10-beregningerne.

Datasæt benyttet til modelleringen af huset er fortrinsvist generiske data, bortset fra teglblokkene hvor produktspecifikke data er benyttet.

Materialelevetiderne i opgørelsen af Det Vedligeholdelsesfri Hus A er standardlevetider med undtagelse af de delelementer i konstruktionen hvor det benyttede design giver anledning til en formodet længere levetid. Denne ekstra levetid er ikke vurderet videnskabeligt, men er et skøn fra arkitekternes side der dermed danner basis for beregningerne. For Det Vedligeholdelsesfri Hus A er tagets levetid dermed sat højt i forhold til en almindelig tagkonstruktion ligesom tagudhænget formodes at forøge både vinduer og murværks levetid.

Detaljer angående opgørelsens materialelevetider, -mængder og de involverede materialeflows kan ses i bilag 1.

## Bemærkninger til resultaterne

Den store mængde tegl i Det Vedligeholdelsesfri Hus A betyder at især ydervæggene fylder meget i CO<sub>2</sub>-regnskabet. Selvom tagkonstruktionen også er et stort areal med teglsten er bidraget her fra ikke så stort fordi taget også indebærer brugen af en stor mængde CO<sub>2</sub>-bindende træ, både til den bærende konstruktion og til det faste undertag. Dertil kommer benyttelsen af papiruld som loftsisolering.

Resultaterne fra dette studie viser at hvis konstruktion og design som udført i Det Vedligeholdelsesfri Hus A fører til en forlænget levetid af huset som helhed medfører det et gunstigt CO<sub>2</sub>-regnskab set over den samlede forventede levetid.

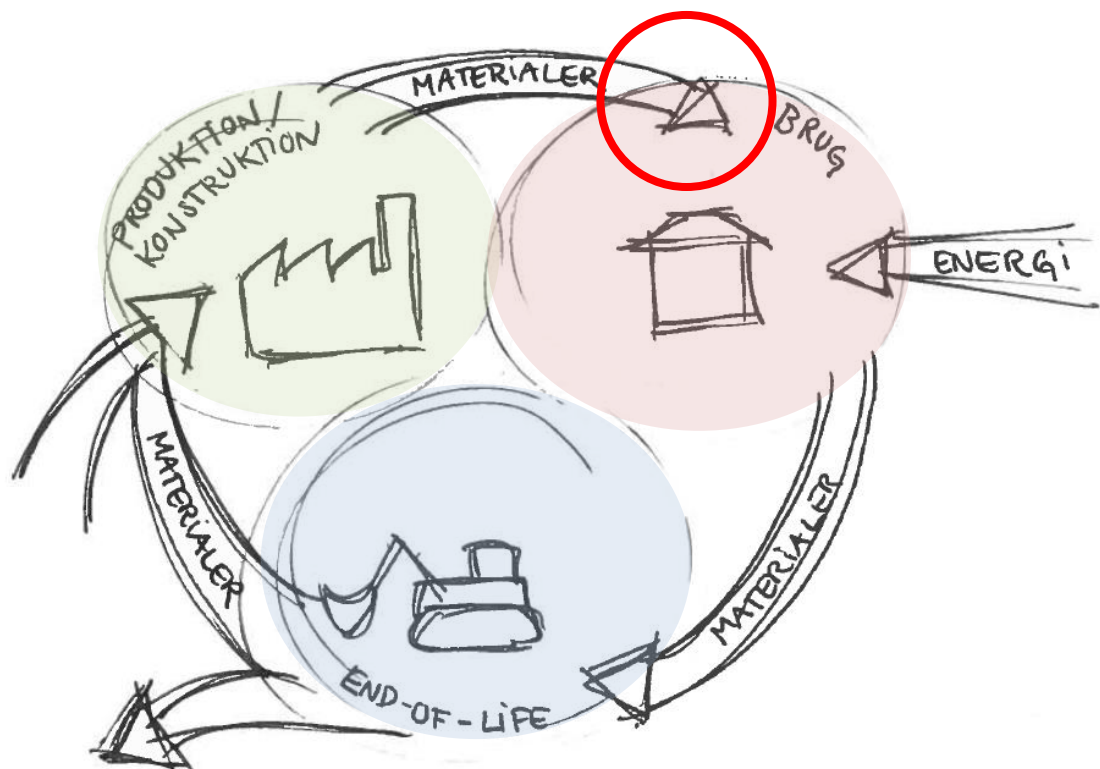




# Det Vedligeholdelsesfri Hus B

## - Fornyelse

Fokus på minimering af materialevedligehold



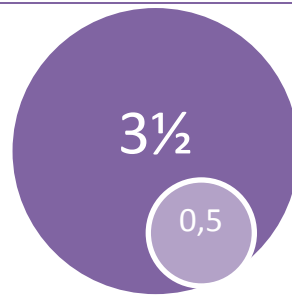
## Beskrivelse af huset

Huset er på 156 m<sup>2</sup> og er i ét plan med køkken/alrum, bad og 4 værelser. Hertil kommer 2 hemse og et teknikrum. Huset er konstrueret i selv bærende moduler i form af trækassetter på punktfundamenter af beton. Kassetterne er isoleret med skumplader/mineraluld i dækket og med mineraluld i væg- og tagarealer. Facadebeklædningen på modulerne er hærdet glas. Vinduer og døre ligger tilbagetrukket under udhæng. Gulvoverflader, vægge og lofter fremstår i træ og indervægge er opbygget i gips.



*Arkitema, 2012*

Huset er bygget og isoleret så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

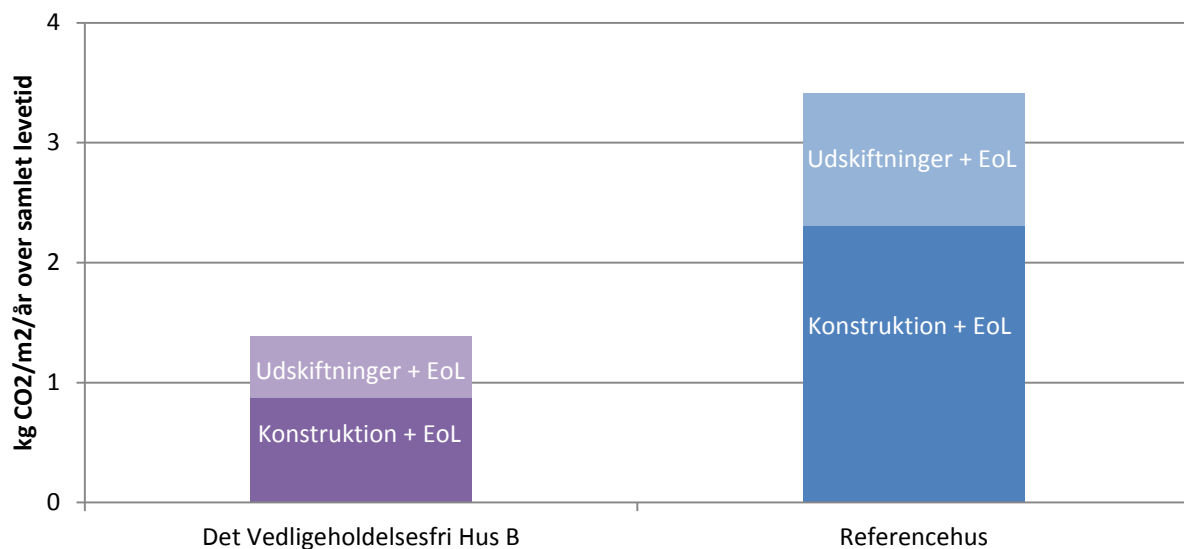


## Vedligeholdelsesfri B vs Reference

CO<sub>2</sub>-udledningen fra materialeforbruget til konstruktionens livscyklus i Det Vedligeholdelsesfri Hus B er mindre end Referencehusets (3,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år mod 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i en periode på 50 år). Både i Det Vedligeholdelsesfri Hus B og i Referencehuset beløber udskiftningen af materialer sig regnet over 50 år til ca. 0,5 kg af den samlede CO<sub>2</sub>-belastning fra huset.

## Husets særkende: Vedligeholdelsesfri og lang levetid

Det Vedligeholdelsesfri Hus B er konstrueret til at kunne stå i 150 år og samtidig at sikre et minimum af vedligehold over husets samlede levetid som altså forventes at være 30 år længere end Referencehusets 120 år. Kigger man på CO<sub>2</sub>-belastningen fordelt over husets samlede levetid er tallet for Det Vedligeholdelsesfri Hus B under 1,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år og for Referencehuset næsten 3,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år. Dette er illustreret i nedenstående figur. Heraf fremgår også hvor stor en del af belastningen der skyldes udskiftningen af materialer.

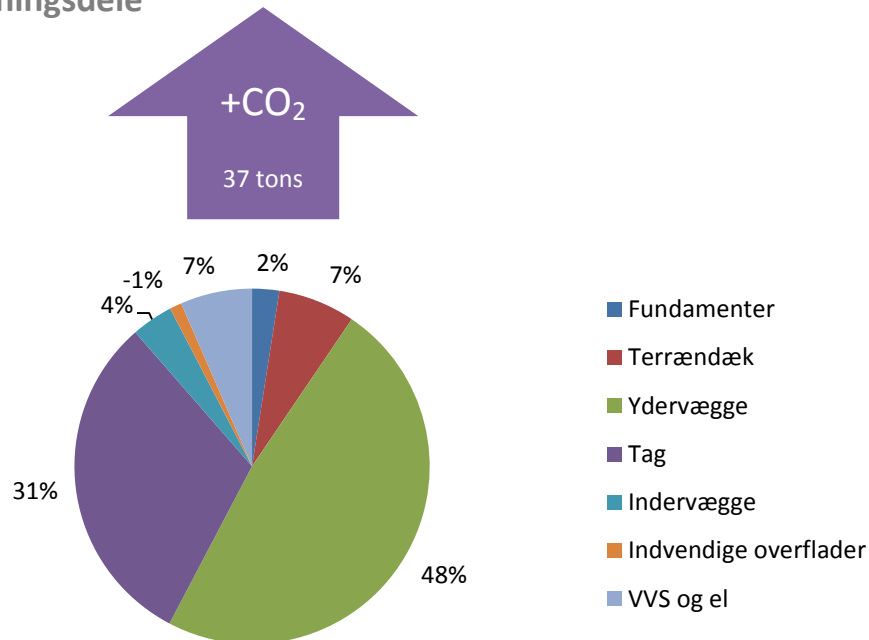


Selvom Det Vedligeholdelsesfri Hus B er konstrueret til et minimum af vedligehold vil der stadig være nogle grundlæggende komponenter i byggeriet som skal udskiftes næsten på linje med udskiftningerne i Referencehuset. Det gælder især udskiftningen af lavenergiruder som, på trods af en længere levetid end i referencehuset, står for en stor del af belastningen fra udskiftningerne i Det Vedligeholdelsesfri Hus B. Til gengæld sikrer den lange forventede levetid i Det Vedligeholdelsesfri Hus B at belastningen fra den oprindelige konstruktion af huset kan fordeles over en længere årrække end ved Referencehuset.

## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

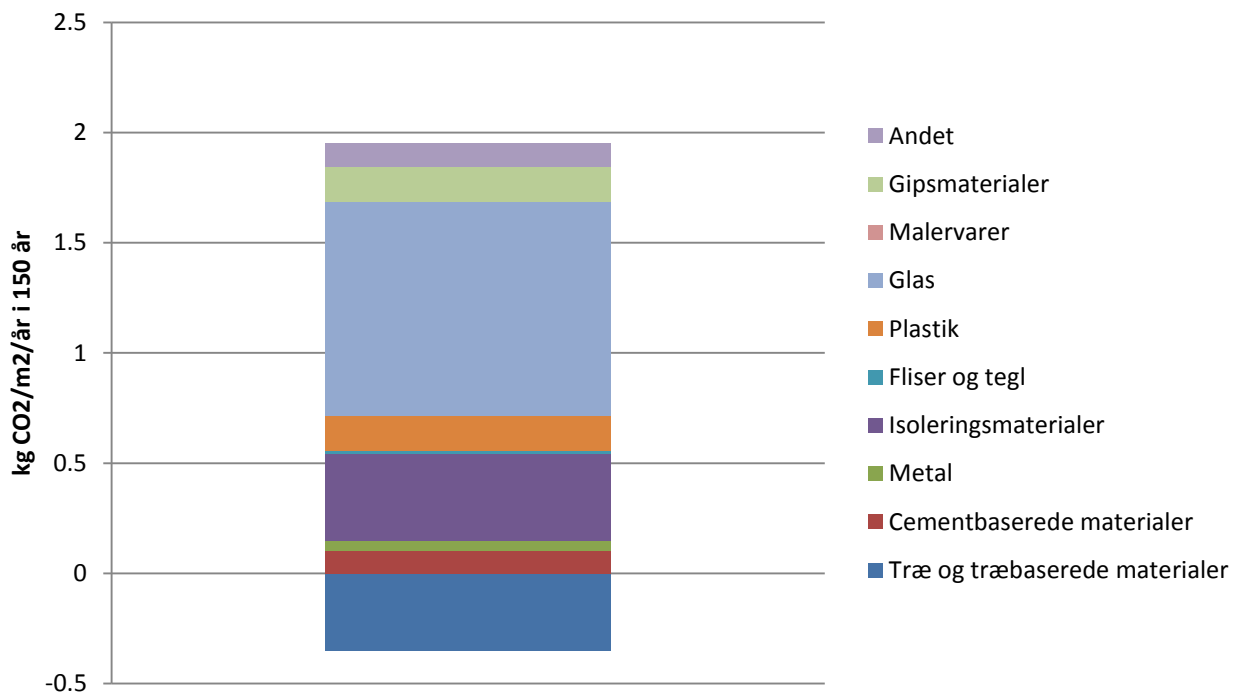
Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for Det Vedligeholdelsesfri Hus' 150-årige levetid samlet set 37 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 208 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse kan aflæses af figuren nedenfor.



## Bemærkninger til opgørelsen

Materialetyper, -mængder og arealer i opgørelsen af Det Vedligeholdelsesfri Hus B stammer primært fra arkitektens egen opgørelse samt fra BE10-beregningerne.

Datasæt benyttet til modelleringen af huset er fortrinsvist generiske data, men produktspecifikke miljøvaredeklarationer er benyttet for skumisoleringspladerne, kompositmaterialet i vinduesrammerne samt for det hærdede glas. For det hærdede glas gælder at genbrugsandelen ifølge leverandøren kan være op mod 70 %. Der kunne dog kun tilvejebringes et datasæt for hærdet glas med 30 % genbrugsglas i produktionen, og den faktiske belastning herfra kan derfor være mindre end angivet i beregningerne. CO<sub>2</sub>-belastningen fra det hærdede glas udgør i de angivne beregninger omtrent 1/3 af den samlede belastning fra glas som vist i figuren nederst på forrige side. Kompositmaterialet i den benyttede vindspærre findes ikke som hverken generisk data eller produktspecifik. Et alternativt materiale (cementspånplader) som tidligere i designfasen var nævnt som mulig vindspærre er derfor benyttet.

Materialelevetiderne i opgørelsen af Det Vedligeholdelsesfri Hus B er standardlevetider med undtagelse af de delelementer i konstruktionen hvor det benyttede design giver anledning til en formodet længere levetid. Denne ekstra levetid er ikke vurderet videnskabeligt, men er et skøn fra arkitekternes side der dermed danner basis for beregningerne. For Det Vedligeholdelsesfri Hus B er levetiden på klimaskærmens konstruktion dermed sat højt i forhold til et almindeligt typehus ligesom tagudhænget formodes at forøge vinduernes levetid.

Detaljer angående opgørelsens mængder og de involverede materialeflows kan ses i bilag 1.

## Bemærkninger til resultaterne

Konstruktionen i det Vedligeholdelsesfri Hus B indebærer brug af en stor mængde træ der bidrager med en CO<sub>2</sub>-besparende effekt til det samlede regnskab. Til gengæld er belastningen fra brugen af glas også høj i huset, dels på grund af det hærdede glas i facaden men også på grund af et samlet vinduesareal der er cirka 50 % større end i Referencehuset.

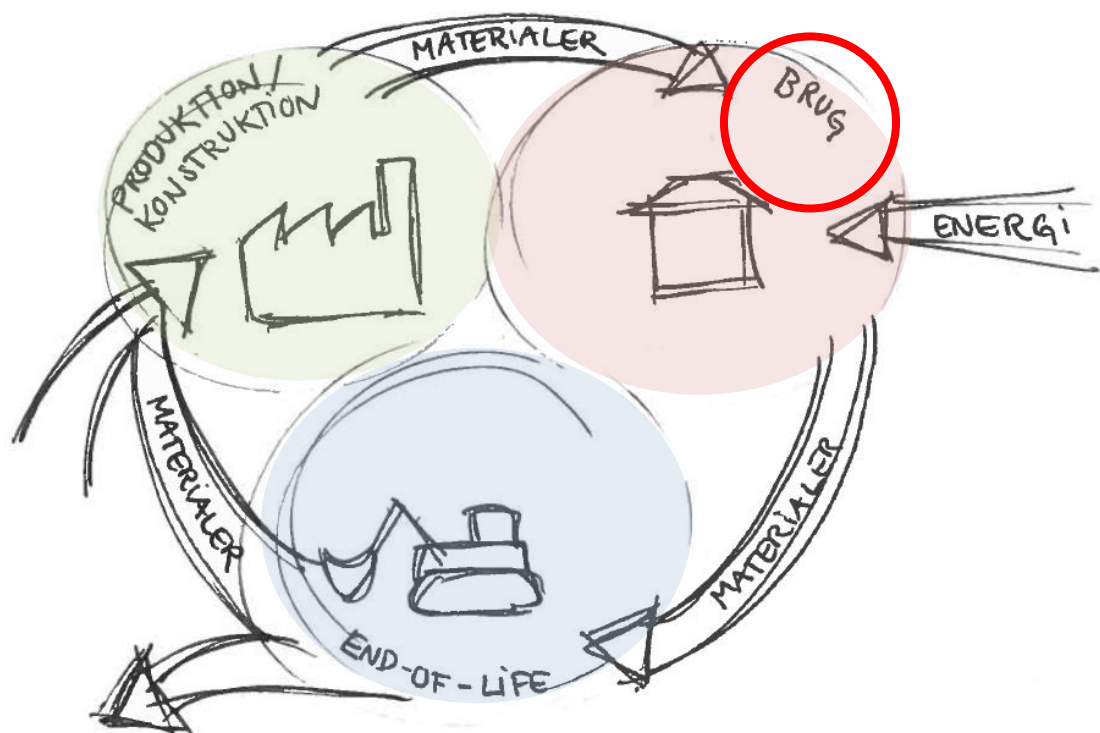
I de fleste andre konstruktioner vil der i CO<sub>2</sub>-regnskabet også være et betydeligt bidrag fra beton og polystyren i fundament og dæk, men dette undgås i Det Vedligeholdelsesfri Hus B hvor huset er placeret på punktfundamenter og hvor terrændæksisoleringen udgøres af de benyttede skumplader.

Resultaterne fra dette studie viser at hvis konstruktion og design som udført i Det Vedligeholdelsesfri Hus B fører til en forlænget levetid af huset som helhed medfører det et samlet gunstigt CO<sub>2</sub>-regnskab, både set over en kortere tidshorisont på 50 år, men især set over den samlede forventede levetid.



# Det Foranderlige Hus

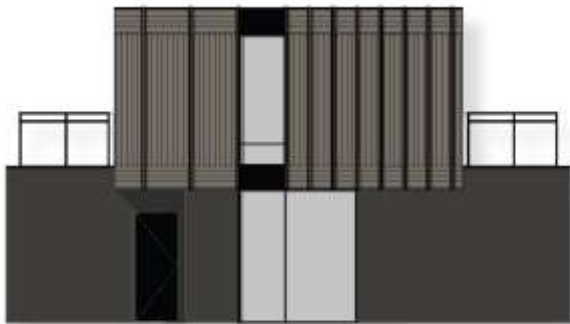
Fokus på fleksibilitet i brugsfasen



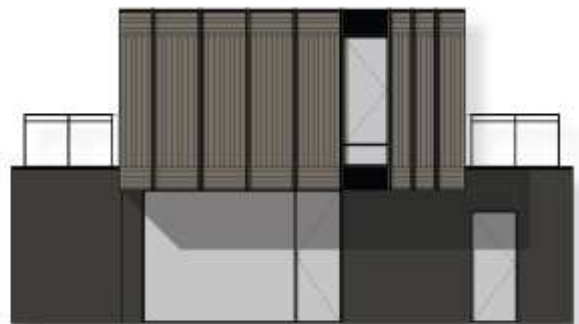


## Beskrivelse af huset

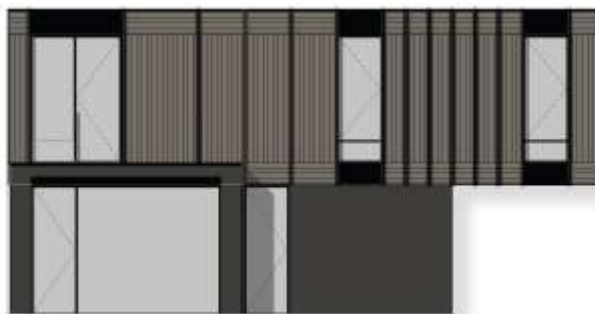
Huset er på 115 m<sup>2</sup> (144 m<sup>2</sup> brutto) og er i to plan med stort køkken/alrum og bad i stueetagen samt bad, tagterrasser og tre værelser på førstesalen. Huset er med linjefundament og terrændæk af armeret beton. Ydervægge og facadeelementer er udført dels i letbeton og dels i en let konstruktion beklædt med træpaneler. Glaspartier er 3-lags termoruder i rammer af glasfiberkomposit og taget er beklædt med tagpap. Gulvoverflader i stueetagen fremstår som poleret beton og på førstesalen som bambusparket. Indervægge er opbygget i fleksible moduler af gips.



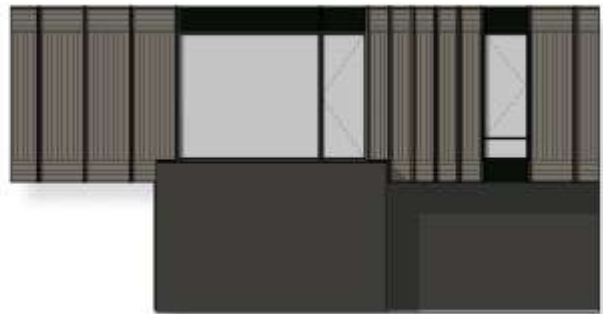
Facade mod nord



Facade mod syd



Facade mod vest



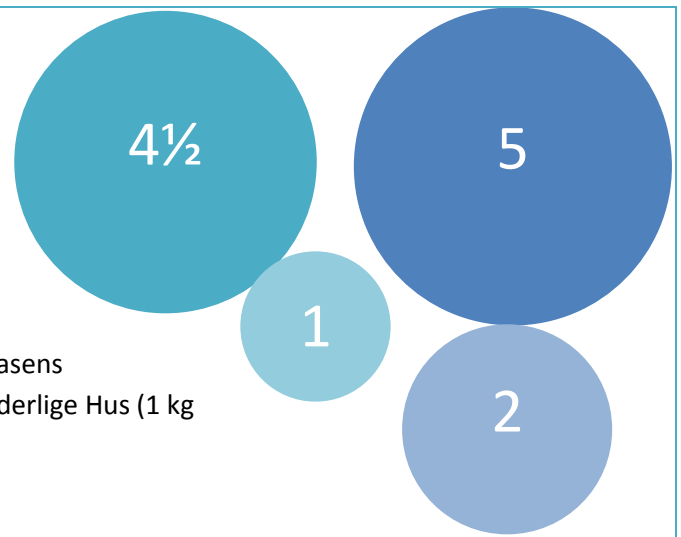
Facade mod øst

*Henning Larsen Architects, 2013*

Huset er bygget og isoleret så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

## Foranderlighed vs Reference

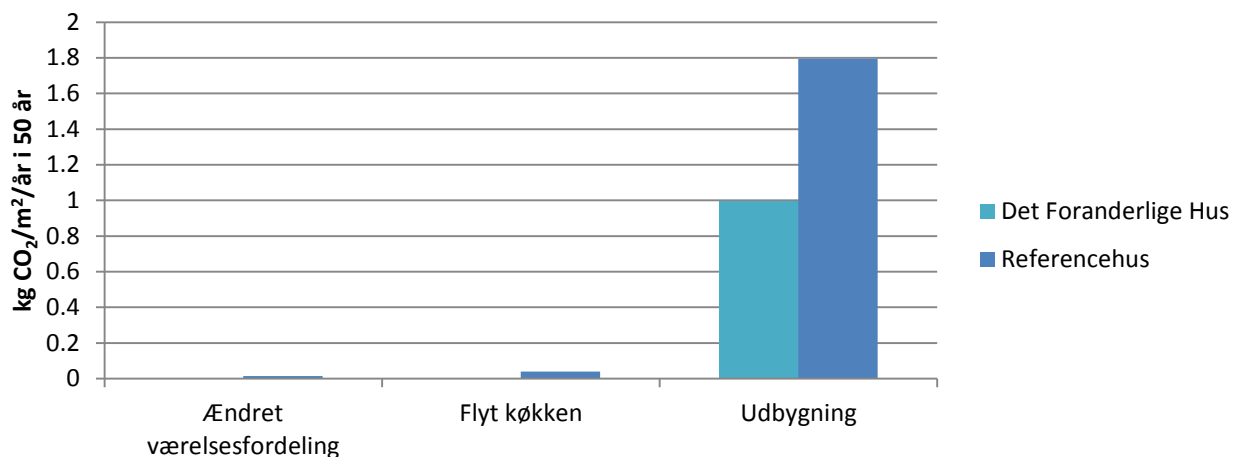
CO<sub>2</sub>-udledningen fra materialeforbruget til konstruktionen i Det Foranderlige Hus er mindre end Referencehusets (4,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år mod 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i en periode på 50 år). Samtidig er udledningerne fra brugsfasens forandringer, som beskrevet nedenfor, mindre i Det Foranderlige Hus (1 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år mod 2 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i en periode på 50 år)



## Husets særkende: Fleksibilitet i brugsfasen

Det Foranderlige Hus er tegnet og konstrueret til at kunne opfylde de behov for forandringer, som opstår i husets brugsfase, dvs. beboernes behov for at ændre værelsesfordeling, flytte køkken, udvide beboelsesarealet mv. Fleksibilitet over for sådanne forandringer i et hus kan omsættes til CO<sub>2</sub>-beregninger så snart der er tale om fysiske forandringer i husets udtryk. Som eksempler på forandringer og den afledte CO<sub>2</sub>-betydning vises i figuren nedenfor tre forskellige scenarier:

1. ændret værelsesfordeling: opsætning af skillevæg på 10 m<sup>2</sup>
2. flytning af køkkenet: nedrivning/opsætning af køkkenvæg, ændret rørlægning
3. udbygning på 55 m<sup>2</sup> i forlængelse af husets oprindelige design



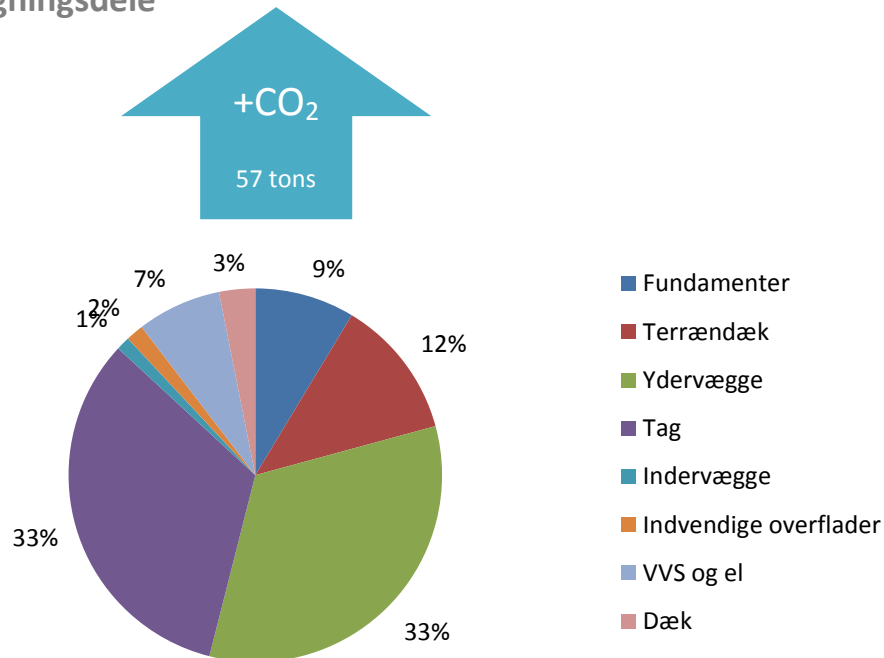
Figuren ovenfor viser at det ikke er CO<sub>2</sub>-mæssigt dyrt at nedrive/bygge indervægge, men at det primært er klimaskærmens materialer der har store CO<sub>2</sub>-mængder indlejret. Eftersom Det Foranderlige Hus er forberedt på udbygningen, bl.a. ved at facadeelementerne kan genbruges, resulterer en udbygning her i nogle ekstra kvadratmeter som er CO<sub>2</sub>-mæssigt billigere end den oprindelige konstruktion. De gunstige tal for udbygningen i Det Foranderlige Hus bunder i designet af huset, hvor en udbygning resulterer i et mere kompakt hus.

Det er ikke alle fordelene ved et fleksibelt hus der kan omregnes til CO<sub>2</sub>-gevinster. For en familie, der af en eller anden grund er utilfreds med husets udtryk, vil der både være sociale og økonomiske parametre der spiller ind i overvejelserne om ombygning/udbygning/flytning, og sådanne parametre kan ikke umiddelbart udtrykkes i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. En kvalitativ vurdering af husets muligheder for fleksibilitet (eller mangel på samme) er derfor et nødvendigt supplement til en samlet vurdering af husets bæredygtighed.

## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

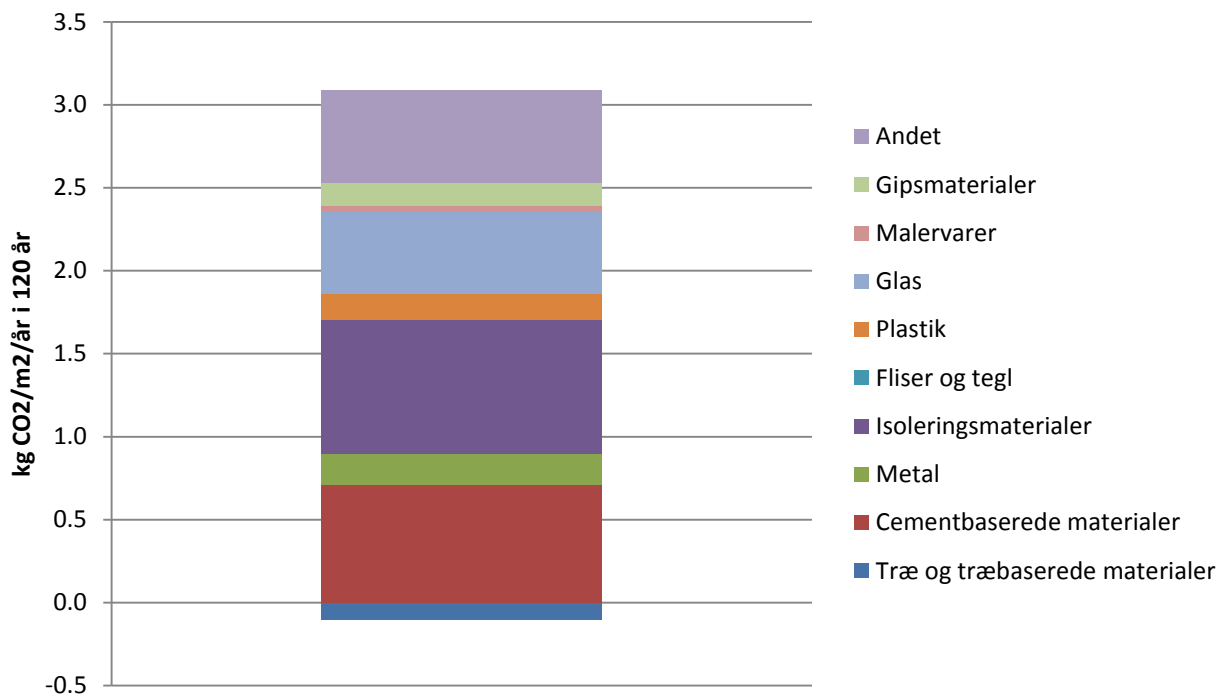
Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for Det Foranderlige Hus' 120-årige levetid samlet set 57 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 355 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse kan aflæses af figuren nedenfor.



## Bemærkninger til opgørelsen

Materialer, -mængder og arealer i opgørelsen af Det Foranderlige Hus stammer primært fra arkitektens egen opgørelse samt fra BE10-beregningerne.

Datasæt benyttet til modelleringen af huset er fortrinsvist generiske data. Detaljer angående opgørelsens mængder og de involverede materialeflows kan ses i bilag 1.

## Bemærkninger til resultaterne

Fra materialernes samlede udledning på 57 tons CO<sub>2</sub> over en 120-årig periode er det især ydervægge og tag der bidrager. Fra taget er det primært brugen af tagpap og trykfast isolering der bidrager og fra ydervæggene er det de store partier af glas.

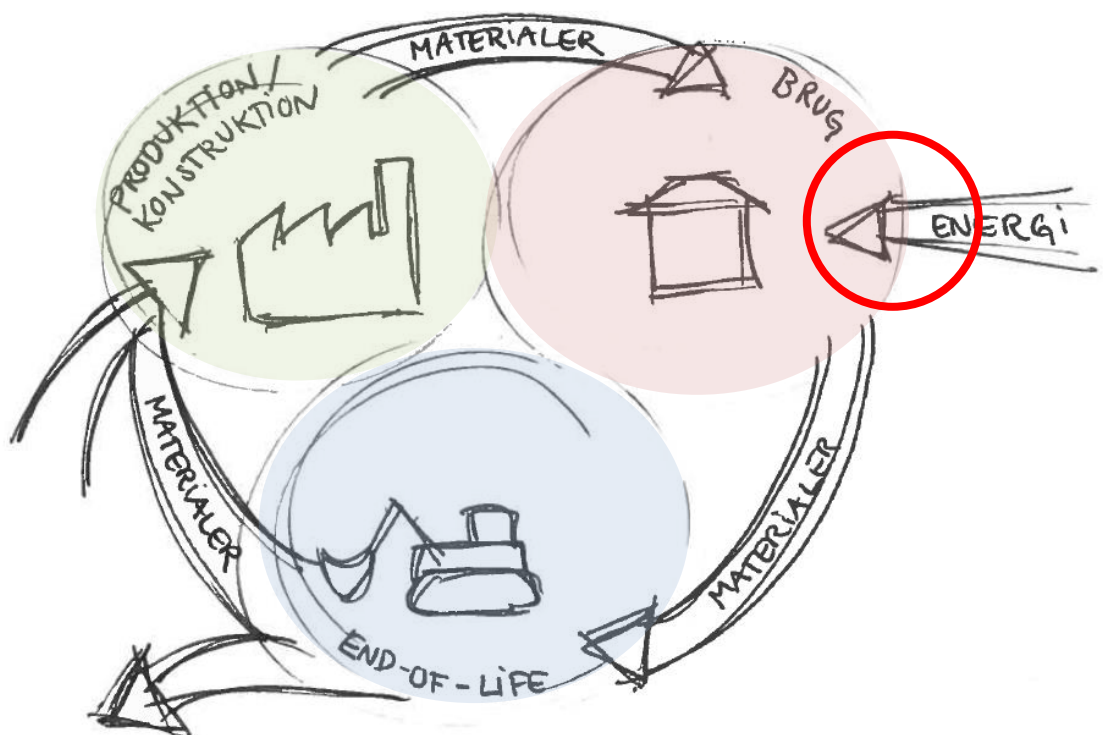
Den indlejrede CO<sub>2</sub> i husets konstruktion og materialer over en 120-årig periode er mindre end den tilsvarende for Referencehuset (355 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> mod 410 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).

Design og konstruktion i Det Foranderlige Hus giver mulighed for enkel adskillelse af komponenter og for fleksibel benyttelse i husets levetid. Det er derfor muligt at en del af materialerne kan genanvendes/genbruges efter endt levetid i huset. Disse aspekter regnes dog ikke med i LCA'en hvor bortskaffelsesscenerierne tager udgangspunkt i det nuværende referencescenarie for de enkelte materialegrupper. Af opgørelseslisten i bilag 1 fremgår de EoL affaldsstrømme som de enkelte materialer i modelleringen ledes til.



# Kvotehuset

Fokus på minimering af energi i brugsfasen



## Beskrivelse af huset

Huset er på 104 m<sup>2</sup> (brutto 138 m<sup>2</sup>) og er i ét plan med køkken/alrum, bad, 3 værelser, et multirum og et bryggers. Uden for husets nettoareal, men integreret i konstruktionen, kommer dertil et viktualierum og et væksthus. Huset er konstrueret med linjefundament og terrændæk af beton, og ydervægge er primært bygget op af porebetonelementer med facade af fibercementplader. Ydervæggene langs viktualierum og væksthus er teglstensvægge. Taget er beklædt med tagpap. Isoleringen i vægge og tag er mineraluld.



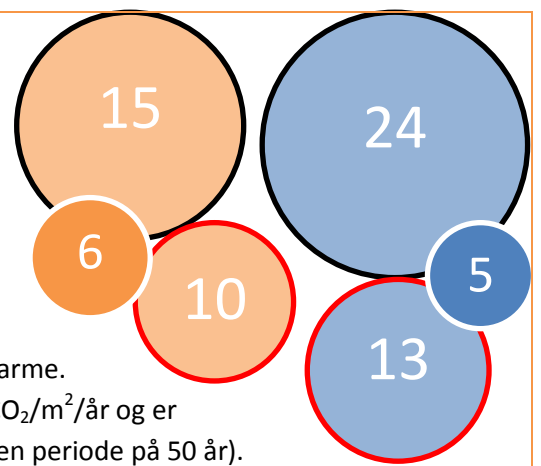
*Pluskontoret, 2012*

Huset er bygget så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

## Kvotehuset vs Reference

CO<sub>2</sub>-udledningen fra forbruget af el og varme i løbet af Kvotehusets brugsfase er på henholdsvis 15 og 10 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år over en periode på 50 år. For Referencehuset gælder at de tilsvarende tal er 24 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år for den forbrugte el og 13 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år for den forbrugte varme.

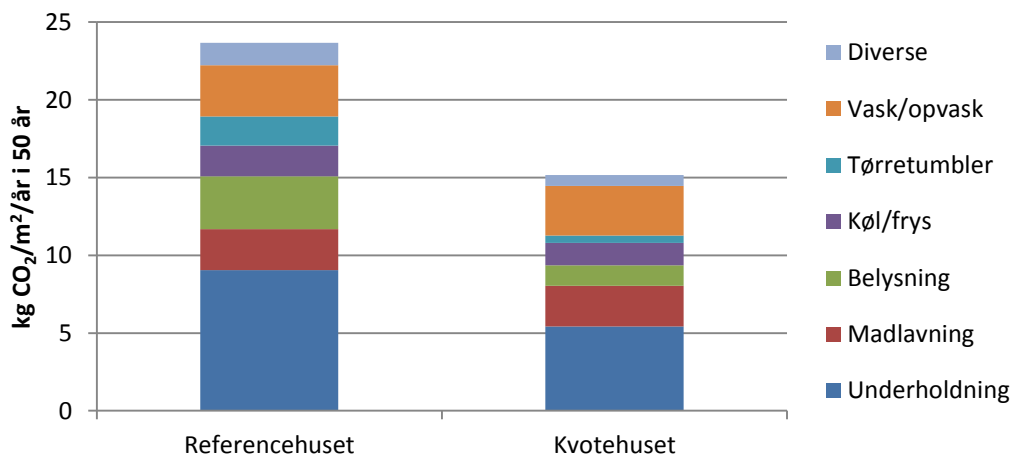
Materialeforbruget til konstruktionens livscyklus i Kvotehuset er 6 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år og er dermed lidt højere end Referencehusets tilsvarende (5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i en periode på 50 år).



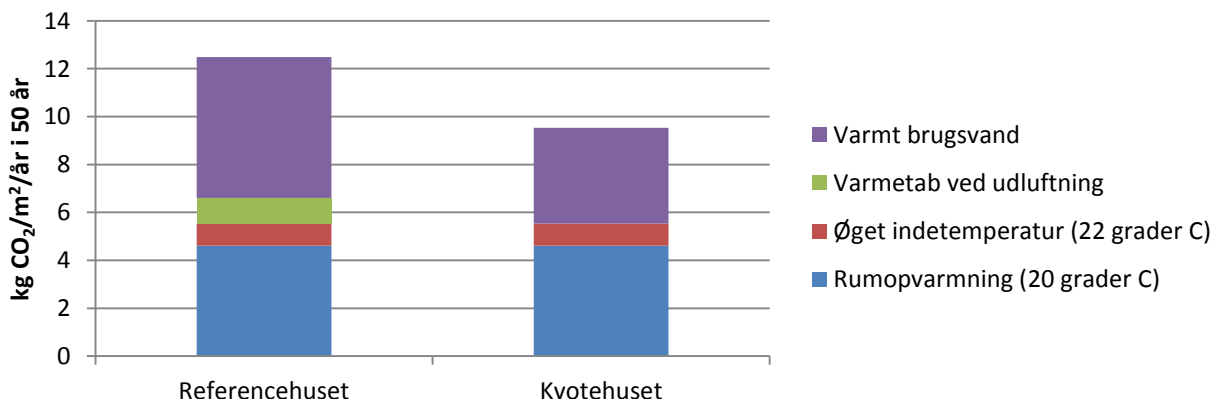
## Husets særkende: Mindsket energiforbrug i brugsfasen

Implementeringen af de forbrugsbesparende tiltag i Kvotehuset forventes at nedbringe det samlede forbrug af el og varme og de deraf følgende CO<sub>2</sub>-udledninger betragteligt. Fordelingen i forbruget forventes at tilsvare fordelingen i de nedenstående grafer.

### Forbrugsfordeling, el



### Forbrugsfordeling, varme



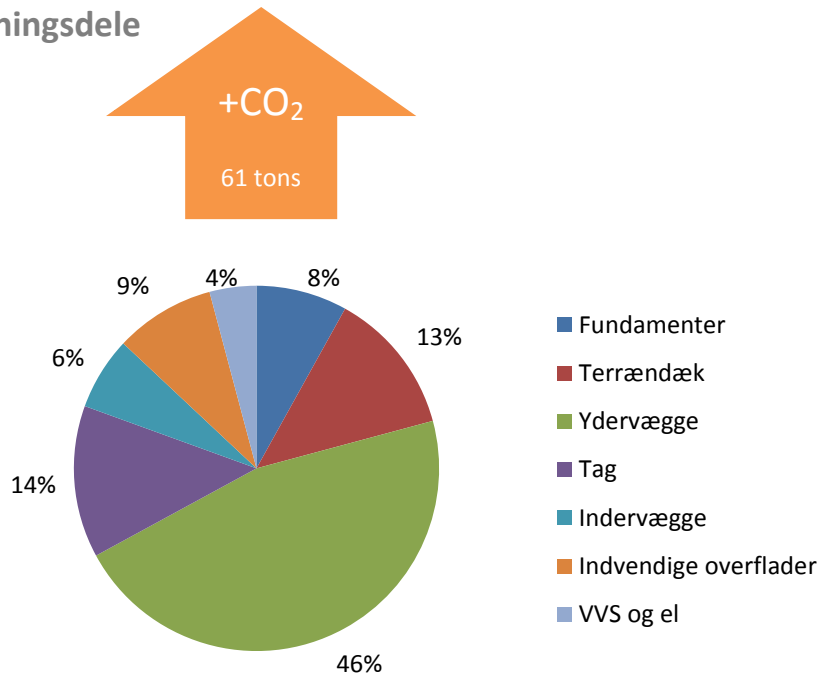
For elforbrugets vedkommende ventes CO<sub>2</sub>-besparelserne i Kvotehuset primært i forbrugskategorierne underholdning, belysning og tørretumbler. For varmeforbruget ventes besparelser fra forbruget af varmt brugsvand og det at man undgår varmetab ved udluftning af boligen.



## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

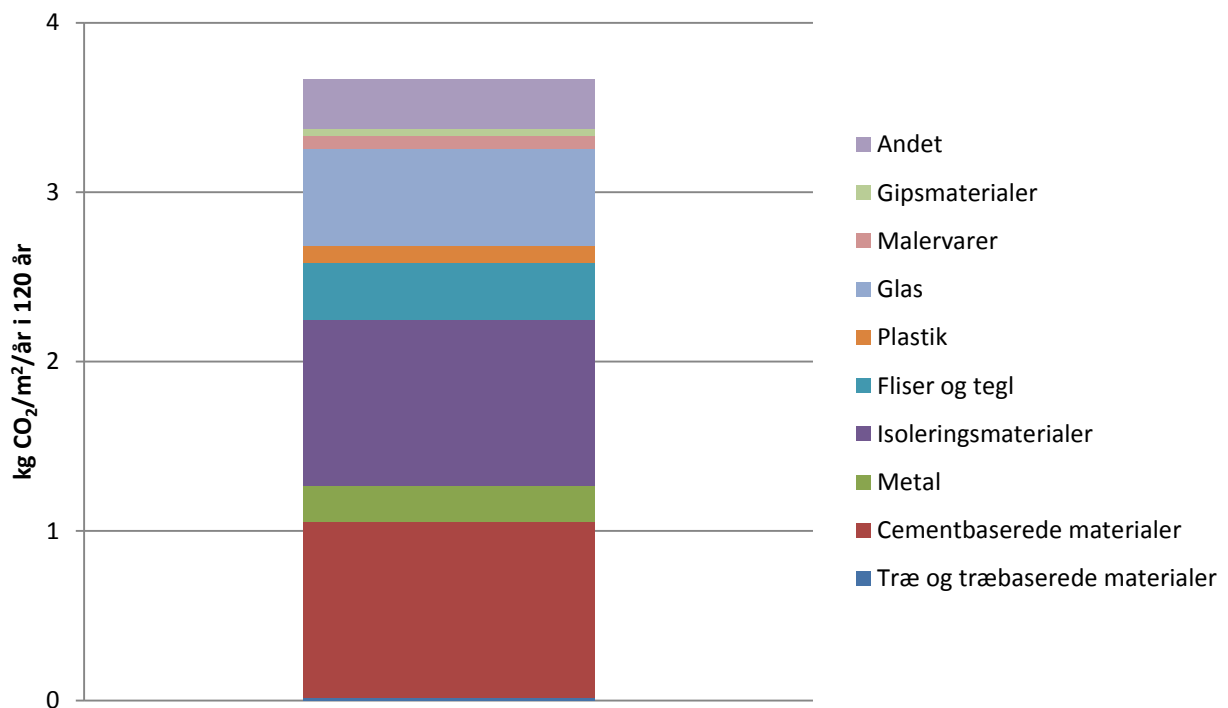
Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for Kvotehusets 120-årige levetid samlet set 61 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 437 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse kan aflæses af figuren nedenfor.



## Bemærkninger til opgørelsen

Materialetyper, -mængder og arealer i opgørelsen af Kvotehuset stammer fra arkitekttegninger og -materiale, oplysninger fra tegnestuen selv samt fra BE10-beregningerne.

Datasæt benyttet til modelleringen af huset er generiske data.

Detaljer angående opgørelsens materialelevetider, -mængder og de involverede materialeflows kan ses i bilag 1.

CO<sub>2</sub>-beregningerne vedrørende Kvote- og Referencehusets forbrugsfase og besparelspotentialer er foretaget af MOE Rådgivende Ingeniører på baggrund af emissionstal fra el- og varmforsyningen i Nyborg Kommune.

Detaljer angående forbrugsopgørelsen for Kvote- og Referencehuset kan ses i bilag 3.

De benyttede tiltag til reduktion af forbruget i Kvotehuset tæller blandt andre hensigtsmæssig indretning af huset, el-besparende hårde hvidevarer, vandbesparende brusehoved og forskelligt software til adfærdsregulering hos beboerne. Ingen af disse tiltag regnes med i materiale-LCA'en af Kvotehuset, dvs at der ikke i LCA'en på husets konstruktion er medtaget den CO<sub>2</sub>-belastning/besparelse der er forbundet i at producere eksempelvis et vandbesparende brusehoved. Det er en afgrænsning for materialeopgørelsen af samtlige MiniCO<sub>2</sub>-huse, at installationer og brugerudstyr ikke er taget med.

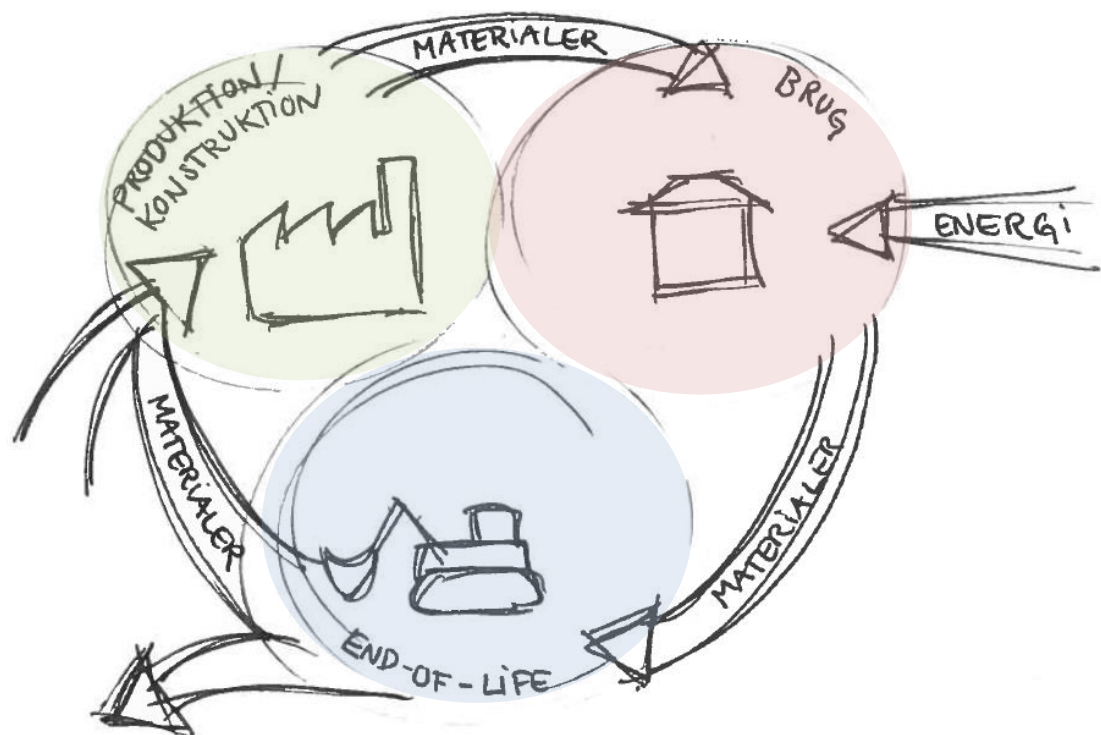
## Bemærkninger til resultaterne

Kvotehusets fokus har været på energiforbrugsdelen af et hus' livscyklus. Med de benyttede tiltag forventes årlige CO<sub>2</sub>-besparelser på 46 % for el-forbruget og 33 % for varmforsyningen. Besparelserne af denne størrelsesorden er beregnet med det udgangspunkt at CO<sub>2</sub>-belastningen fra en enhed el eller varme produceret i Nyborg er konstant over de 50 år. Dvs i beregningerne kan der ikke tages højde for at el- og varmforsyningen måske engang i fremtiden skifter mod mere CO<sub>2</sub>-neutrale energikilder. Den benyttede beregningsmetode, hvor man benytter nutidens tilstand og data er normal praksis i LCA-beregninger på bygninger.

Beregningerne af Kvotehusets konstruktion og materialeforbrug udmønter sig i en CO<sub>2</sub>-belastning der er højere end Referencehuset (6 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år mod 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år). Sammenlignes graferne for Kvotehuset på forrige side med de tilsvarende grafer for Referencehuset ses en vis lighed i fordelingen af CO<sub>2</sub>-belastning fra materialer og fra bygningsdele. Grunden til at Kvotehusets endelige CO<sub>2</sub>-tal for materialer falder ud som det gør, skal primært findes i at huset samlet set er mindre end Referencehuset og at der derfor er mere klimaskærm (som ofte er CO<sub>2</sub>-mæssig dyr) pr m<sup>2</sup> i Kvotehuset end i Referencehuset. I Kvotehusets konstruktion er også indbygget væksthus og viktualierum, men disse rum tælles ikke med i husets bruttoareal. Regnes arealet af de to rum med er Kvotehusets CO<sub>2</sub>-belastning tættere på 5,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år.

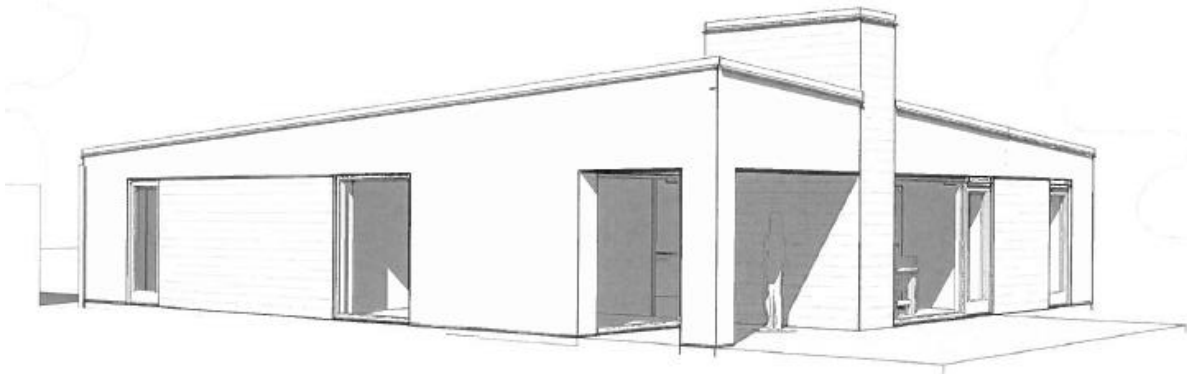


# MiniCO<sub>2</sub>-typehuset



## Beskrivelse af huset

Huset er på 157 m<sup>2</sup> og er i ét plan med stue, køkken/alrum, 2 badeværelser og 4 værelser. Hertil kommer bryggers, depot og garderobe. Husets ydervægge er opbygget med porebetonblokke bestående af to forskellige densiteter. De benyttede porebetonblokke overflødigger en mellemliggende isoleringskerne. Taget er isoleret med papiruld og beklædt med tagpap. Terrændækket er for en stor dels vedkommende opbygget som svømmende gulv på trykfast isolering i stedet for traditionelt betondæk. Indvendigt er huset beklædt med trægulv og –loft samt med fliser. Indervægge er opbygget dels af porebetonblokke og dels af lette gipsvægge.



*Luplau/Poulsen Arkitekter 2013*

Huset er bygget så det opfylder Lavenergi 2015-krav til nybyggede huse.

35

## MiniCO<sub>2</sub>-huset vs Referencehuset

CO<sub>2</sub>-udledningen fra materialeforbruget til konstruktionens livscyklus i MiniCO<sub>2</sub>-typehuset ligger på godt 3 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i en periode på 50 år mod Referencehusets 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år i en periode på 50 år.

## Husets særkende: Opsamling af erfaringer

I konstruktionen af MiniCO<sub>2</sub>-typehuset har det været målet at inddrage de erfaringer mht materialevalg, konstruktion og funktionalitet som har givet CO<sub>2</sub>-gevinst i beregningerne af de eksperimenterende 5 MiniCO<sub>2</sub>-huse. Dertil kommer de tiltag som ikke direkte kan kvantificeres i en LCA (primært i forhold til fleksibilitet og genanvendelsesmuligheder, herunder cradle2cradle) samt de tiltag der måtte have betydning for beboernes energiforbrug i brugsfasen.

## Bemærkninger til opgørelsen

Materialetyper, -mængder og arealer i opgørelsen af MiniCO<sub>2</sub>-typehuset stammer alle fra typehusfirmaet Benée Huse A/S. Detaljer angående opgørelsens materialelevetider, -mængder og de involverede materialeflows kan ses i bilag 1.

Datasæt benyttet til modelleringen af huset er fortrinsvist generiske data. For porebetonblokkene i ydervæggen er, i mangel af specifikke data, benyttet et konstrueret hybriddatasæt baseret på produktspecifikke EPD'er for de to typer af porebeton der udgør den samlede blok. CO<sub>2</sub>-aftrykket er dermed beregnet ud fra blokkens densitet og ikke for den specifikke produktionsproces af selve blokken. Ligeledes findes ikke miljødata for den specifikke bortskaffelsesproces for porebetonen (delvis genanvendelse i produktion af nye blokke). Standardgenanvendelsesscenarioet for cementbaserede materialer er dermed benyttet.

Den benyttede tagpap i MiniCO<sub>2</sub>-typehuset er af en type der ifølge leverandørens oplysninger fikserer CO<sub>2</sub> fra luften. En produktspecifik EPD eksisterer dog ikke, så i LCA-opgørelsen er benyttet et generisk datasæt for en standard type af tagpap.

## Bemærkninger til resultaterne

En relativ stor del af MiniCO<sub>2</sub>-typehusets materialebundne CO<sub>2</sub>-udledninger relaterer sig til de cementbaserede materialer. Fordi ydervæggen er opbygget af et enkelt materiale (cementbaserede porebetonblokke af varierende densitet) undgår man dog den ofte betydningsfulde påvirkning fra de mineralske isoleringsmaterialer. Det svømmende gulv består af en del CO<sub>2</sub>-belastende EPS, men målt mod en traditionel terrændæksopbygning med betonlag er der dog også en samlet CO<sub>2</sub>-besparelse herfra.

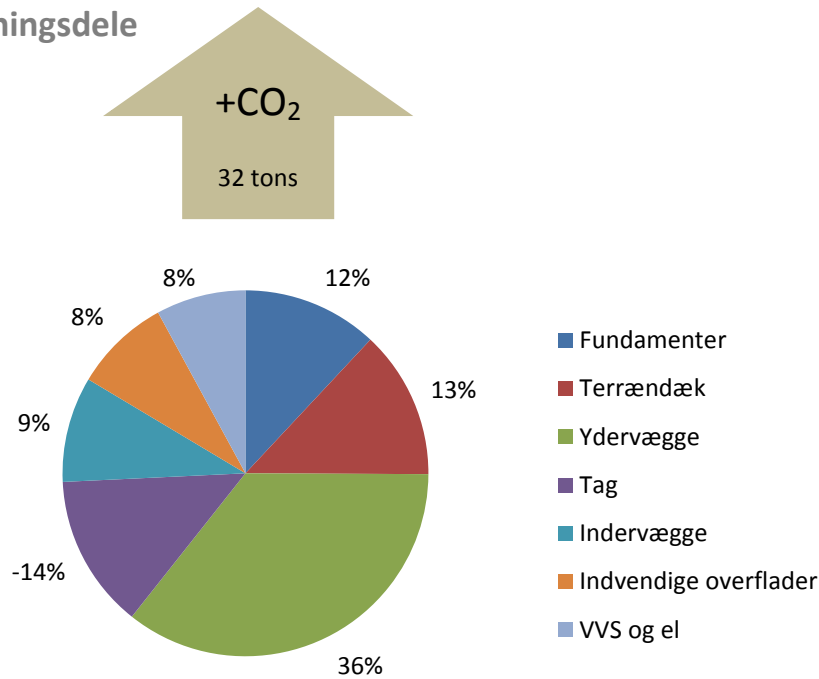
Tag- og loftskonstruktionen bidrager med en CO<sub>2</sub>-besparelse fra denne bygningsdel til husets samlede profil (se lagkagediagram på følgende side). Ligesom i Upcycle House er en væsentlig del af denne besparelse begrundet i antagelsen om at den benyttede papiruldisisolering genanvendes uden væsentlig CO<sub>2</sub>-belastning og altså ikke forbrændes.

Ud fra de beregningsforudsætninger på MiniCO<sub>2</sub>-husenes LCA'er som er beskrevet nærmere i afsnittet Livscyklusvurdering af MiniCO<sub>2</sub>-husene er der dermed betydelige CO<sub>2</sub>-besparelser at hente i forhold til CO<sub>2</sub>-udledningerne fra et traditionelt typehus når tiltagene fra de 5 eksperimenterende MiniCO<sub>2</sub>-huse implementeres i det danske typehusbyggeri som i eksemplet MiniCO<sub>2</sub>-typehuset.

## Hvorfra kommer bygningens CO<sub>2</sub>-udledninger?

Bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse er for MiniCO<sub>2</sub>-typehusets 120-årige levetid samlet set 32 tons CO<sub>2</sub>, svarende til 204 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### Fordelt på bygningsdele



### Fordelt på materialer

De enkelte materials bidrag til den samlede udledning fra materialeproduktion, udskiftninger og bortskaffelse over en samlet forventet levetid på 120 år kan aflæses af figuren nedenfor.

