

Case Study "Det Moderne Tanghus på Læsø"

Arkitekter: Vandkunsten, København

Bygherre: Realdania Byg

Dato: 2013.05.15 / Jan Schipull Kauschen

## Livscyklusvurdering af projektet "Det Moderne Tanghus på Læsø"

1. Indledning
2. Metode og struktur på kortlægningen
3. Livscykluscreening af "Det moderne tanghus"
  - 3.1. Formål og afgrænsning (Goal and Scope)
    - 3.1.1. Formål for livscyklusvurderingen
    - 3.1.2. Afgrænsning
      - 3.1.2.1. Produkt systemet og systemets grænser
      - 3.1.2.2. Funktionel ækvivalent
      - 3.1.2.3. Påvirkningskategorier
      - 3.1.2.4. Data, databaser og datakvalitet
  - 3.2. Livscykluskortlægning (LCI)
  - 3.3. Vurderingen af miljøpåvirkninger (LCIA)
    - 3.3.1. Bidrag fra delmodellerne til påvirkningskategorierne
    - 3.3.2. Udvalgte indikatorer (CO<sub>2</sub>-footprint, Embodied Energy)
    - 3.3.3. Livscykluscreening (Hotspot Analysis)
    - 3.3.4. Følsomhedsanalyse (Sensitivity Analysis)
  - 3.4. Fortolkning af resultaterne (Interpretation)
4. Diskussion, perspektivering og uddybende beskrivelser
  - 4.1. Livscyklus for ålegræs som byggemateriale
  - 4.2. Levetidsmodel
  - 4.3. CO<sub>2</sub>-regnskab for træprodukter og ålegræs
  - 4.4. Alternativer til "End-of-life" for "Det moderne Tanghus"
  - 4.5. LCA som designværktøj
5. Bilag
  - 5.1. Mængdeudtræk
  - 5.2. LCI-data
    - 5.2.1. Facade
    - 5.2.2. Tag
    - 5.2.3. Interiør
    - 5.2.4. Konstruktion
    - 5.2.5. Bad
    - 5.2.6. Udvendige bygningsdele
    - 5.2.7. Driftsenergi og anlæg
  - 5.3. Miljødata for ålegræs
  - 5.4. Energiforbrugsberegningen
  - 5.5. Excel-tool

## 1. Indledning

”Tanghuse på Læsø” er et aktuelt projekt som Realdania Byg gennemfører, for at sikre traditionen om at bruge tang som bygningsmateriale på Læsø. Realdanias satsning omfatter to byggeprojekter, restaurering af ”Kalines Hus” fra 1865 og ”Det moderne Tanghus”, som skal stå færdig i sommer 2013.

Tang – ålegræs - har gennem flere hundrede år været et traditionelt byggemateriale til taginddækninger på Læsø. Materialet og dets anvendelse er en af årsagerne til en unik byggeskik og ifølge en unik arkitektur, som kun findes på Læsø. Projekterne skal sikre den gamle tradition både gennem restaureringen af en fredet bygning og gennem opførelsen af et nyt hus som skal give bud på en fremtidig anvendelse af tang i byggeri, samtidig med at der stilles høje krav til projektets bæredygtighed (Realdania Byg 2012).

Denne case study arbejder med projektet ”Det moderne Tanghus på Læsø”, tegnet af Tegnestuen Vandkunsten for Realdania Byg i 2012/2013, og kortlægger mulige miljøpåvirkninger gennem projektets livscyklus baseret på en livscyklusvurdering (LCA<sup>1</sup>). I afsnit 4. diskuteres nogle af forudsætningerne og antagelserne som ligger til grunde for LCA'en, for at redegøre for beregningens validitet og begrænsninger.

## 2. Metode og struktur på kortlægningen

Til kortlægning af projektets mulige miljøpåvirkninger anvendes metoden for livscyklusvurderinger (LCA), som beskrevet i ISO standarderne 14040f.

En livscyklus i byggeriet omfatter alle faser som er nødvendige for at producere, drifte og bortskaffe en bygning (”vugge-til-grav”). Faserne inddeles i råmaterialeudvinding, byggemateriale- og/eller komponentproduktion, brug og vedligeholdelse og bortskaffelse (”End-of-Life”)<sup>2</sup>.

For at gøre livscyklusvurderingen sammenlignelig med livscyklusvurderinger af andre byggeprojekter, følges desuden i høj grad kravene opstillet i DGNB certificeringen for bæredygtigt byggeri<sup>3</sup>, med henblik på systemgrænser, data kvalitet og karakteriseringsmetoden. Det skal derfor nævnes at den foreliggende livscyklusvurdering kun kortlægger mulige miljøpåvirkninger fra ét projekt med målet at optimere projektet i forhold til mulige miljøpåvirkninger. Resultaterne sammenlignes ikke direkte til et alternativt projekt. Vurdering kan derfor betegnes som livscyklusscreening (hot-spot-analysis) i stedet for en fuld livscyklusvurdering efter ISO standarden 14040.

I projektets forløb er LCA blevet anvendt som værktøj til at identificere årsager og kilder for mulige miljøpåvirkninger med hensyn til materialevalg, baseret på to tidligere vurderinger (iterationer) i

---

<sup>1</sup> LCA står for ”Life Cycle Assessment”

<sup>2</sup> ”End-of-Life” (bortskaffelse) henviser til et muligt scenarie i fremtiden. Selvom fagudtrykket efter standarden hedder ”End-of-Life”, inkluderer fasen også mulighed for genbrug og/eller recycling. Se også afsnit 4. for en diskussion af mulige End-of-Life scenarier i byggeriet.

<sup>3</sup> DGNB står for ”Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen” og er navnet på en bygningscertificering for bæredygtigt byggeri som i Danmark administreres af Green Building Council Denmark (DK-GBC). DGNB-systemet er gennem en evalueringsproces i 2010 blevet udvalgt som standard til dansk bæredygtigheds-certificering for byggeri og er siden blevet videreudviklet og blevet tilpasset til danske forhold.

December 2012 og Januar 2013. Siden er materialevalget blevet ændret tilsvarende, som har medført en reduktion i de beregnede miljøpåvirkninger. De foreliggende tal kan dog ikke direkte sammenlignes med tallene fra de første iterationer, idet beregningsmodellen, datakvaliteten og antagelser med hensyn til levetiden er blevet forbedret siden<sup>4</sup>.

Strukturen på kortlægningen følger ISO standarden 14040 og kan inddeles i fire afsnit (engelske fagudtryk i parenteser):

- 3.1. Formål og afgrænsning (Goal and Scope)
- 3.2. Livscykluskortlægning (Life Cycle Inventory, LCI)
- 3.3. Vurdering af miljøpåvirkning (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)
- 3.4. Fortolkning af resultaterne (Interpretation)

I den første fase af LCA'en skal formålet for studiet defineres og omfanget afgrænses. Her fastlægges også en funktionel enhed (FU), som fungerer som referenceværdi for hele vurderingen. I den anden fase, LCI, udarbejdes et inventar over alle processer som er nødvendigt at tage i betragtning for vurderingen. En proces omfatter alle arbejdsskridt indenfor en fase (f.eks. produktion af et vindue). Alle processer sammentaget danner produktsystemet for et produkt eller en service. I LCI fasen bliver dermed beregnet, hvilke inputs og outputs et produktsystem har. Inputs og outputs kan både være kemiske stoffer og energi.

LCI modellen til den foreliggende livscyklusvurdering er baseret på bygningsbeskrivelsen, tegningsmaterialet, dataudtræk fra en BIModel (Revit) og korrespondancen med arkitekterne. Alle underlag blev fremstillet af Tegninstuen Vandkunsten og er i den seneste version dateret til Januar 2013.

I den tredje fase, LCIA, regnes alle inputs og outputs om til mulige miljøpåvirkninger. Kategorierne anvendt i denne livscyklusvurdering svarer til standarden for DGNB-systemet og er baseret på CML 2001<sup>5</sup> metoden. De anvendte miljødata (LCI-data) stammer hovedsageligt fra ökobau.dat databasen (version 2011). Hvor processer ikke eksisterede i ökobau.dat-databasen, blev disse fremstillet på basis af lignende processer fra Ecoinvent-databasen (Version 2.2) og angivelser fra enkelte eksperter, eller hentet direkte fra producenternes miljøvaredeklarationer (Environmental Product Declarations, EPD).

Beregningen af produktsystemet blev gennemført med et Excel-værktøj, som blev udviklet i phd-projektets forløb. Excel-værktøjet er baseret på beregningsmetoden som beskrevet i DGNB manualen (se også DGNB 2010, chap.3).

I den fjerde fase skal resultaterne fortolkes og valideres. Fasen skal indeholde forskellige redegørelser for datakvaliteten som en følsomhedsanalyse for livscyklusmodellen.

---

<sup>4</sup> Se også afsnit "Perspektivering og videregående undersøgelser" med hensyn til en generel diskussion af indflydelsen af antagelser på resultaterne i forbindelse med et byggeprojekt og udfordringen med den potentielt lange levetid.

<sup>5</sup> CML 2001 er en metode til karakterisering af Livscyklusdata, udviklet på Universitet i Leiden, Holland. "Karakterisering" betyder at stofstrømme bliver omregnet til mulige miljøpåvirkninger indenfor på forhånd bestemte klasser (som f.eks. "global opvarmning" (GWP). I omregningsprocessen anvendes enheder som tillader en sammenligning af forskellige kemiske stoffer og forbindelser. For eksempel benytter man for GWP enheden CO<sub>2</sub>eq, hvor "eq" står for "ækvivalenter". Én kg CO<sub>2</sub> svarer dermed til én kg CO<sub>2</sub>eq, hvorimod én kg CH<sub>4</sub> (metan) svarer til 25 kg CO<sub>2</sub>eq. Én kg metan har dermed det samme potentiale til forandre klimaet som 25 kg CO<sub>2</sub>.

I afsnit 4. "Diskussion, perspektivering og uddybende beskrivelser", redegøres for bæredygtigheden af ålegræs som byggemateriale (som taginddækning og isolering), især med henblik på materialets CO<sub>2</sub>-fodaftryk.

Derudover diskuteres resultaterne for GWP med henblik på projektets formål – CO<sub>2</sub>-neutralitet over 20år - samt implikationerne som opstår gennem brug af datagrundlaget som krævet ifølge DGNB-systemet.

### 3. Livscyklusvurderingen af "Det moderne Tanghus på Læsø"

#### 3.1 Formål og afgrænsning

##### 3.1.1 Formål for livscyklusvurderingen

Resultaterne på den foreliggende livscyklusvurdering (LCA) skal bruges for at kunne forbedre mulige miljøpåvirkninger forårsaget gennem bygningens livscyklus. Resultaterne skal ikke direkte sammenlignes med resultater fra alternative systemer og livscyklusvurderingen blev derfor primært gennemført som en livscyklusscreening (hot spot analysis).

Denne livscyklusscreening blev foretaget på grund af arkitektens og bygherrens ønske om at kunne kvalificere bygningens miljøpåvirkninger, med en særlig fokus på CO<sub>2</sub>-udslippet og anvendelsen af tang (ålegræs) som byggemateriale.

Denne studie kan derfor klassificeres som en "situation A" studie, efter ILCD håndbogen, da resultaterne udelukkende skal bruges til, at støtte beslutninger omkring materialevalget og påpege yderlige forbedringspotentialer (European Commission. Joint Research Centre 2010, p.38).

Resultaterne skal ikke anvendes til markedsføring og hvis resultaterne skal offentliggøres i en anden sammenhæng, skal livscyklusvurderingen ifølge ISO standarden 14040 være gransket ("kritisk review").

Livscyklusvurderingen bliver gennemført som en del af PhD-projekt "Bæredygtige systemleverancer ved reovering og nybyggeri" og bruges i denne sammenhæng som en case study om anvendelsen af LCA som værktøj i designfasen.

Livscyklusvurdering på projektet "Det moderne Tanghus" blev bestilt af Tegnestuen Vandkunsten og Realdania Byg.

### 3.1.2 Afgrænsning

#### 3.1.2.1 Produkt systemet og systemets grænser

Produkt systemet omfatter følgende faser (inddeling i moduler svarende til EN 15978):

fase	Produktionsfase			Bygge-/ Anlægs-fase		Brugs- og driftsfase							End-of-Life				Information udover bygnings livscyklus			
	modul	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3
beskrivelse	Råmateriale udvinding	Transport til produktionssted	Byggemateriale- / komponent-produktion	Transport til byggepladsen	Opførelse / indbygning	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Fornyelse / Istandsettelse	Drift – Energiforbrug	Drift – Vandforbrug	Nedrivning / Adskillelse	Transport (svarende til EoL-scenariet)	Affaldshåndtering	Bortskaffelse	Om-/Genbrug, genvinding, recycling af materialer	Genbrug af vand	Recycling og energigenvinding	
DGNB	X	X	X			X			X		X				X	X	X			
LCA	X	X	X	(X)		X			X		X			(X)	X	X	X			

Tabel 1: Oversigt over livscyklusfaser og -moduler iflg. EN 15978 standard for livscyklusvurderinger i byggeriet. Kryds (X) i rækken "DGNB" indikerer om moduler skal medtages ifølge DGNB-systemet og kryds i rækken "LCA" indikerer hvilke moduler er medtaget i den foreliggende LCA. Kryds i parenteser betyder at modulet medtages i en særskilt betragtning, men ikke indgår i de endelige resultater, for at muliggøre en sammenligning med andre LCA efter DGNB-systemet.

På grund af den store materialemæssige kompleksitet af bygninger følger denne LCA desuden også regelsættet for DGNB-systemet med henblik på afskæringskriterier som definerer hvilke bygningsdele og –komponenter medtages i vurderingen:

1. Fundamenter, Gulvkonstruktion
2. Konstruktionselementer (søjler, bjælker, osv.)
3. Trapper
4. Tag
5. Lofter (inkl. overfladebehandling)
6. Ydervægge (inkl. overfladebehandling), vinduer og døre
7. Indervægge (inkl. overfladebehandling), døre
8. Varmeapparater (f.eks. varmepumper, varmeveksler, fjernvarmeanhed)

### 3.1.2.2 Funktionel ækvivalent

Den funktionelle ækvivalent for livscyklusvurderingen er et fritidsbolig på 86m<sup>2</sup> bruttoareal, 30m<sup>2</sup> hems og 124m<sup>2</sup> terrasse. Fritidsboligen har op til 10 sovepladser og bliver brugt 168 timer om ugen, året rundt i 50år.

### 3.1.2.3 Påvirkningskategorier

Påvirkningskategorier (midpoints) udvalgt for livscyklusvurderingen er [enheder i paranteser]:

1. Global Warming Potential (GWP100) [kg CO<sub>2</sub>-eq]
2. Ozone Depletion Potential (ODP) [kg R11-eq]
3. Photochemical ozone creation potential (POCP) [kg Ethene-eq]
4. Acidification potential (AP) [kg SO<sub>2</sub>-eq]
5. Eutrophication Potential (EP [kg PO<sub>4</sub>-eq]

Desuden medtages brugen af følgende ressourcer i vurderingen:

6. Non-renewable primary energy demand (NPED) [MJ]
7. Renewable primary energy demand (RPED) [MJ]
8. Total primary energy demand (TPED) [MJ]
  
9. Water usage [t]
10. Waste production [t]
11. Hazardous waste production [t]
12. Abiotic resource depletion (ADP) [t]
13. Excavation residues [t]

Påvirkningskategorier 1-5 og ressourcebrug 6 og 8 kræves vurderet i en LCA efter DGNB-systemet. Vurderingsmetoden som beskrevet i DGNB følger karakteriseringsmetoden CML2001 (Universitet Leiden) og påvirkningskategorierne og deres enheder stammer derfor direkte fra denne metode. Udover de krævede kategorier medtages også brugen/produktionen af andre ressourcer som vand eller affald, for at give et mere omfattende billede på ressourceindsatsen.

### 3.1.2.4 Data, databaser og datakvalitet

For at kunne gennemføre en LCI (Life Cycle Inventory) for en bygning kræves der mange informationer fra forskellige kilder føret sammen til en omfattende inventarliste.

Baggrundsdata for LCI'en stammer fra følgende kilder:

Data / datatype	Kilde	Form
Materialer og mængder	Tegnestue Vandkunsten  Syddansk Universitet (Ålegræs)	Plantegninger, Bygningsbeskrivelse og udbudsmateriale, BIModell, personlig korrespondance Personlig korrespondance
Energiforbrug og anlæg	Tegnestuen Vandkunsten	BE10 beregning (inkl. datafil)
Miljødata / LCI data	Ökobau.dat (Version 2011) Ecoinvent (Version 2.2) PEInternational (Byggemateriale database XII, 2012) Materialeproducenter	Database (LCIA data) Database Database (Gabi 6.0)  EPD / (personlig korrespondance)
Levetider	Tegnestuen Vandkunsten Syddansk Universitet (Ålegræs) Leitfaden Nachhaltiges Bauen (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2001)	Personlig korrespondance Personlig korrespondance Rapport / Database

Tabel 2: Data og datakilder for LCI fasen

### Materialer og mængder

Efter beskrivelsen består bygningen af ca. 200 komponenter og komponentgrupper, som kan deles op i 6 forskellige bygningsdele. I bygningen indgår 38 forskellige materialer.

Alle mængdeudtræk til den foreliggende LCI er lavet manuelt på baggrund af plan- og detaljetegninger (se Bilag 2). I den første iteration blev LCI'en lavet på grundlag af et data- og mængdeudtræk fra BIModellen (Revit), men det viste sig at denne information ikke var præcis nok og at udtræksmetoden ikke svarerede til mængdedefinitionen i miljødata-databasen<sup>6</sup>.

Med den manuelle udtræksmetode kunne også affaldsmængden bestemmes, som opstår under anlægsfasen.

I henhold til systemgrænsekriterierne efter DGNB-standard, er tekniske installationer (ledninger, stikkontakter, rør, mgfl.) ikke medtaget i beregningen. Inventarlisten omfatter dog gulvarmeanlægget (Pex-rør og varmfordelingsplader), siden dette er den del af gulvkonstruktionen.

<sup>6</sup> I dataudtrækket fra BIModellen bliver f.eks. folier eller fugeband, tape og lignede udeladt, da disse elementer normalt kun beskrives i udbudsmaterialet eller tegnes i detaljeringstegninger. Desuden viste det sig at dataudtrækket fra komplekse delelementer som f.eks. ovenlys gav resultater som ikke kunne bruges i sammenhæng med miljødata-databasen, da overflader på BIM elementer blev udtrukket baseret på 3d-geometrien og ikke på baggrund af tilgængelige overflader (f.eks. indersiden af vinduesprofiler, eller 6 sider på et gulvbræt).



Baggrundsdata for bygningens energiforbrug stammer fra en BE10-beregning<sup>7</sup>. Opvarmning af rum og varmt brugsvand foretages med en luft-vand varmepumpe, som drives med elektrisk energi.

Beregningen viser et samlet energibehov på 64,4kWh/m<sup>2</sup>a, mens det totale behov for elektrisk energi er på 54,4kWh/m<sup>2</sup>a.

I denne case sættes det "totale el-forbrug" sammen af forskellige poster:

El-behov for varmepumpen (1), el-behov for mekanisk ventilation med varmegenvinding (2) og el-behov for apparaturer (3).

Særskilt angives desuden el-behovet for køling (4) i tilfældet at bygningen overophedes.

Ifølge BE10s beregningsmetode for bygningens energibehov, medtages ikke alle poster i energirammeberegningen, kun "El til bygningsdrift" (1+2) og "Overtemperatur i rum" (4).

Elbehov, betegnelse i BE10	Medtages i energirammeberegningen	Medtages i LCA	Elbehov (kWh/m <sup>2</sup> a)
Varmepumpe (opvarmning og varmt brugsvand)	x	x	21,3
Ventilation (mekanisk)	x	x	2,4
Overtemperatur i rum (køling)	x	-	5,4
Apparaturer (internt tilskud)	-	x	30,7

Tabel 3: Uddrag fra BE10-beregningen, bygningens el-behov

For at afgive et korrekt resultat for bygningens energibehov med hensyn til mulige miljøpåvirkninger, medtages der udover el-behovet for apparatur (30,7 kWh/m<sup>2</sup>a), da restvarme fra andet elektrisk udstyr<sup>8</sup> sænker varmebehovet for varmepumpen i varmeperioden<sup>9</sup>.

Siden huset ikke råder over et kølingsanlæg, medtages ikke den energi, som - efter BE10-beregningen - skal bruges for at fjerne overtemperatur fra bygningen (5,4kWh/m<sup>2</sup>a).

### LCI data

LCI'en til denne beregning blev bygget op i et excel-regneark (LCA-tool). Excel-arket beskrives i bilag 5.1, en detaljeret mængdeudtræk vises i bilag 5.2 og en oversigt over anvendte LCI-datasets vises i bilag 5.3.

LCI data anvendt i beregningsmodellen stammer primært fra ökobau.dat databasen (2011), som udgives af det tyske ministerium for trafik, byggeri og byplanlægning (BMVBS). Ökobau.dat databasen anvendes af DGNB-systemet i Tyskland og er baseret på datasets udgivet af PEInternational. ESUCO databasen, som skal anvendes i sammenhæng med DGNB-certificeringer i Danmark er baseret på den samme procesdatakilde og resultaterne af denne beregning anses derfor at være gældende i forhold til kravene efter det danske DGNB-certifikat. Materiale- og produktdata i ökobau.dat er på forhånd karakteriseret med LCIA metoden CML2001.

<sup>7</sup> BE10, Version 6.0, SBI – dataudtræk vises i Bilag 6.4

<sup>8</sup> f.eks. restvarme fra hvidevarer, belysning, it-udstyr, mfl. Ifølge BE10 regnes der med et konstant varmetilskud på 3,5W/m<sup>2</sup> (bruttoareal) i brugstiden (bolig: 168 timer/uge).

<sup>9</sup> September til maj

Hvor ökobau.dat databasen ikke kunne levere de nødvendige datasets, blev data fra Ecoinvent databasen eller GABI 6.0 anvendt. Dette gælder især for materialer som ikke bredt anvendes i byggeriet, som for eksempel fåruld, hørstof og –garn (striktøj), eller pladevat. Produktsystemer til disse materialer blev modelleret i OpenLCA og karakteriseret med CML2001 metoden (svarende til DGNBs tilgang) for at kunne sammenføre dataene i excel-modellen. LCI-data som ikke er verificeret af en uvildig LCA-ekspert har fået pålagt en sikkerhedsfaktor på 10%.

For materialer, som efter den første iteration viste forholdsvis store miljøpåvirkninger, blev LCI-dataene – hvis muligt – valideret med informationer fra producenterne i form af Environmental Product Declarations (EPD) eller i en personlig korrespondance (f.eks. tagpap). I den første iteration kom også ökobau.dat-databasen version 2009 til anvendelse. Resultaterne til den foreliggende LCA blev dog beregnet med ökobau.dat version 2011. Datasets i version 2011 er delvis blevet revideret og ifølge metodebeskrivelsen er beregningsgrundlaget og -måden blevet ændret for nogle påvirkningskategorier (PE International 2011). I den aktualiserede database viser især resultaterne for vandforbruget og affald store ændringer .

I de tilfælde hvor der ikke kun findes et dataset som passede præcis på det anvendte materiale eller komponent, blev det manglende dataset substitueret med et tilsvarende materiale. Dette gælder især i forhold til det geografiske område, fordi de fleste processer fra ökobau.dat databasen repræsenterer tyske forhold. Særlige datasets for Danmark var i de fleste tilfælde ikke tilgængelig.

LCI-data for ålegræs (brugt som taginddækning eller isolering) eksisterede ikke, hverken i databaser eller i form af EPD. Der kunne heller ikke findes LCI-data for sammenlignelige produkter. I den første iteration blev materialet derfor udeladt fra betragtningen. Til den nu foreliggende livscyklusvurdering blev der lavet to særlige datasets for ålegræs som taginddækning og isolering, baseret på et litteratur review og ekspertinformationer. Siden disse datasets ikke er valideret af en LCA-ekspert, påregnes der 10% på alle LCI-værdier i beregningen. Baggrundsdata og procesinformationer er beskrevet i bilag 3.

LCI-data for End-of-Life (EoL) scenarier anvendt i vurderingen, stammer fra ökobau.dat databasen. For mange materialer (især træ-baserede materialer) foreskriver ökobau.dat et bestemt EoL-scenarie eller et bestemt recycling potentiale som skal anvendes i beregningen<sup>10</sup>. Hvor ikke et særlig dataset for EoL eksisterede i databasen, eller materialet efter brugen i bygningen skønnes ikke at kunne

---

<sup>10</sup> F.eks. skal alle træmaterialer forbrændes ifølge procesbeskrivelserne i ökobau.dat. Baggrund til dette er, at ökobau.dat medtager optagelsesprocessen af f.eks. CO<sub>2</sub> i træets vækst, som resulterer i negative CO<sub>2</sub>-værdier i brugsfasen. Ved End-of-Life skal derfor medtages at træet afgiver CO<sub>2</sub> til atmosfæren under en forbrænding eller biologisk nedbrydningsproces. I LCA-sammenhæng fortrækkes forbrænding som EoL-scenarie, fordi der kan genvindes energi, som atter kan erstatte energi fra andre (fossile) kilder. Problematikken med CO<sub>2</sub> fra biologiske kilder mod fossile kilder diskuteres også i bilag 3. Recyclingpotentialet for plastikmaterialer eller metaller angives i kommentaren i databasen. De brugte værdier (i procent) svarer til det maksimal mulige recyclingpotentiale, som angivet.

recycles<sup>11</sup>, blev scenariet "affaldsdeponeringen" valgt, som den værst mulige situation med hensyn til påvirkninger på miljøet.

Energiforbruget til driften af bygningen viser sig at have en stor betydning for det endelige resultat. For at præcisere resultatet blev energi-datasets til energiforsyning fra ökobau.dat databasen erstattet med datasets fra GABI-databasen, som repræsenterer det danske energiforsyningssystem.

Der vises resultater for to scenarier: elektrisk energi fra det danske elnet (DK GridMix) og el fra vindkraft (DK windpower).

Optionen at bruge vindkraft er interessant siden der ikke skal produceres vedvarende energi på eller i selve bygningen. El-forsyningen kan ikke skelne mellem strøm produceret fra vedvarende eller fossile kilder, men det er muligt at købe særlige certifikater, som dokumenterer at el-leverandøren faktisk køber den nødvendige energimængde for bygningens drift fra vindmøller.

### Levetider

Betragningstidsrummet for LCA'en er i den funktionelle enhed angivet med 50 år og følger dermed kravene i DGNB-certifikatet. 50 år er en forholdsvis lang periode med blik på mange materialers og komponenters levetider og medfører, at alle komponenter med en skønnet levetid, kortere end 50 år, vil blive udskiftet i løbet af betragtningsperioden.

Levetider brugt i denne vurdering stammer fra enten litteratur, producenter eller eksperter (ålegræs), men levetider kan generelt kun anses som en antagelse på grund af den lange betragtningsperiode (50 år). Hvor der ikke eksisterede bedre data blev som udgangspunkt anvendt en levetidsdatabase over byggematerialer og -komponenter. Denne ligger også til grunde for metoden beskrevet ifølge DGNB certificeringen<sup>12</sup>. I databasen er levetider angivet som tidspænd og som middelværdi og for beregningen antages middelværdien som gældende. Værdierne i databasen tager hensyn til forskellige indbygnings- og brugssituationer og den dermed forbundne slitage. Alligevel kan disse værdier kun ses som en antagelse, siden der er mange flere faktorer i spil som har en indflydelse på bygningernes, elementernes, komponenternes og materialernes levetid.

For at forbedre datakvaliteten blev der derfor anvendt en levetidsmodel som tillader hensyntagen til de enkelte elementer og komponenter i det særlige projekt og som tilgodeser afhængigheder og tilhørsforhold af forskellige materialer og komponenter til hinanden. Afhængigheder kan både være med til at forlænge, men også at forkorte levetider. Da levetider spiller en afgørende rolle (se også 3.3.3 følsomhedsanalyse), prøves dermed at præcisere levetider i forhold til gennemsnitsdata fra databasen.

En forenklet eksempel fra beregningen for ydervæggene viser problematikken tydeligt:

Isolering har en standard levetid på 30 år efter databasen, indersidebeklædningen en levetid på 70 år, ydersidebeklædningen en levetid på 45 år og den bærende konstruktion en levetid på 100 år.

Følger man levetidsdatabasen, skal isolering erstattes efter 30 år og det medfører at også ydersidebeklædningen skal nedtages, fordi man ellers ikke kan komme til isoleringen. Levetiden for beklædningen på ydersiden bliver dermed begrænset på kun 30 år. Alternativt kan antages at

---

<sup>11</sup> F.eks. fliser eller støbte bundplader i baderum

<sup>12</sup> Se "Leitfaden für Nachhaltiges Bauen" (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2001)

isoleringen først udskiftes når ydersidebeklædningen udskiftes (efter 45 år) – isoleringens levetid forlænges dermed om 15 år (fra 30 til 45 år). Om levetiden skal forlænges eller forkortes er afhængig af indbygningssituationen og brug af et materiale eller komponent. Det vil sige at isoleringen i taget måske udskiftes samtidig med at taginddækningen skal fornyes (efter 30 år), mens isoleringen i væggene først erstattes når vægbeklædningen udskiftes (efter 45 år).

Konsekvensen er udskiftninger får et potentielt højere vægt i resultaterne, end ved en anden metodisk tilgang med allokering af levetiden:

Element fra inventarlisten	levetid	Antal komponenter, allokeret (betragtningstidsrum / levetid)	Antal udskiftninger for komponenten iflg. DGNB-systemet
3.01.1 bjælkelag, konstruktion	100 år	0,5 (50år / 100år = <b>0,5</b> )	1 (50år / 100år <= <b>1</b> )
4.01.2 ovenlys	30 år	1,67 (50år / 30 år = <b>1,67</b> )	2 (50år / 30 år <= <b>2</b> )

Levetid på 45 henviser til 2 cykler – i virkeligheden vil man dog ikke udskifte en komponent efter 45 år, vis bygningen skal fjernes efter 50år. Dog ligger der en anden implikation: sandsynligheden for at komponenten svigter før 45 år er stor, den reale levetid på bygningen er længere end 50år (og desuden ukendt efter 45 år) og derfor er det sandsynlig at komponenten udskiftes.

Antallet af udskiftninger bliver derfor det samme, uafhængig af hvornår i betragtningsperioden elementet udskiftes. Resultatet forvrænges derfor ikke, selvom levetiden med stor sandsynlighed ikke er korrekt angivet.

### 3.2 Livscyklusortlægning (LCI)

LCI'en er opdelt i syv separate beregninger for at kunne tage bedre hensyn til den specifikke bygning, bygningens materialitet og levetidsmodellen, som beskrevet før.

1	Konstruktion	fundamenter og bærende konstruktion for terrændæk
2	Facade	bærende konstruktion for facaden, isolering og ydersidebeklædning, vinduer og døre, fast facadeafskærmning
3	Tag	Bærende konstruktion, inkl. hanebånd, isolering, taginddækning, ovenlys
4	Interiør	Indvendige overflader, gulvbelægning, vægbeklædning, loftbeklædning, køkken, indvendige døre, trapper
5	Bad	Vådtrum, overfalder, inkl. gulvopbygning
6	Terrasser	Udvendig areal, inkl. skærmvægge
7	Energi, anlæg og drift	Elektrisk energi til drift af varmepumpe og ventilatorer, varmforsyningsanlæg (varmepumpe)

Tabel 4: Oversigt over delmodeller

Fritidshuset har også et udehus tilknyttet, som rummer varmepumpen. Udehuset forøger ikke boligarealet og er derfor ikke medtaget i LCI'en, for ikke at forvrænge resultaterne set i relation til boligarealet<sup>13</sup>.

Ökobau.dat databasen indeholder kun værdier, som på forhånd er karakteriseret. Derfor kan der ikke skelnes præcis mellem de forskellige livscyklusfaser ifølge EN15978 (se også 3.1. Afgrænsning). I denne LCA er det dog ikke problematisk, siden formålet ikke er at optimere produktionsprocessen for byggematerialer eller komponenter, men at lave en screening for at kunne identificere materialer og komponenter med et forholdsvis stort potentiale for miljøpåvirkninger.

For hver bygningsdel blev der udarbejdet en inventarliste og mængdeberegning, hver punkt på inventarlisten blev relateret til én proces<sup>14</sup> i beregningsmodellen.

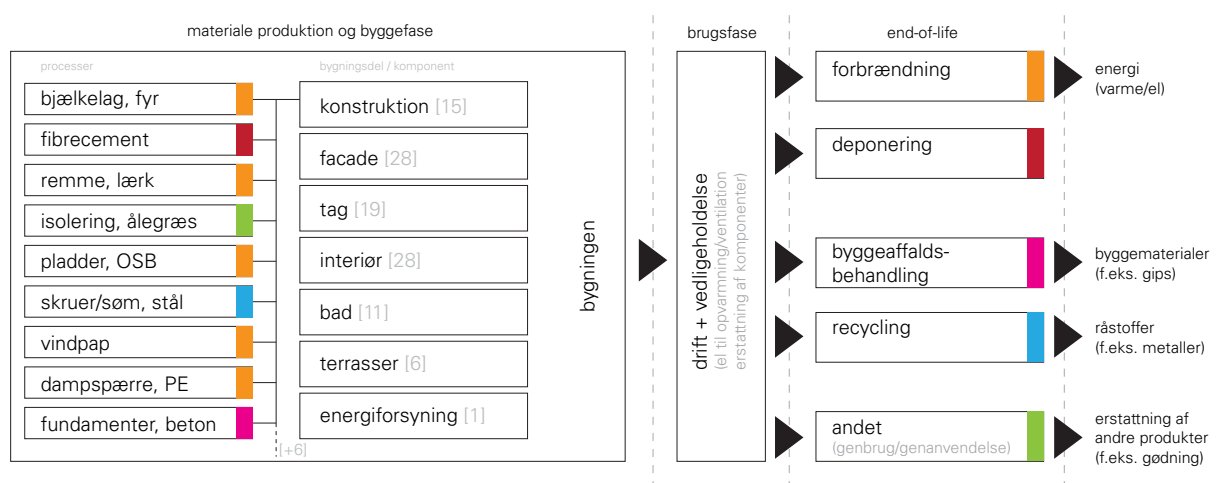


Diagram 1: livscyklusfaser og relation til beregningsmodellen

<sup>13</sup> Ifølge DGNB skal miljøpåvirkninger opgøres per m2 bruttoareal per år for en periode af 50år, f.eks. 1,2 kg CO2eq/m2a. I denne LCA vises alle resultater både som totale tal og efter DGNBs metode.

<sup>14</sup> Process betegner: .... ILCD handbook

### 3.3 Vurdering af miljøpåvirkninger (LCIA)

Resultaterne for LCIA'en er opgjort for tre scenarier:

1. Uden driftsenergi og energiforsyningsanlæg
2. driftsenergi fra vindstrøm (DK windpower)  
driftsenergi fra forsyningsnettet, dansk gennemsnits strøm mix (DK GridMix)

	Påvirknings-kategori	GWP	ODP	POCP	AP	EP
	Enhed	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg Phosphat eq]
Scenario 1 (uden driftsenergi)	total (50år)	-8.830,61	0,00014	4,93	70,59	-116,96
	per m2a	-2,00	3,18E-08	0,00112	0,01600	-0,02651
Scenario 2 (DK windpower)	total (50år)	-5.827,05	0,00066	5,92	79,35	-116,12
	per m2a	-1,32	1,51E-07	0,00134	0,01799	-0,02632
Scenario 3 (DK GridMix)	total (50år)	115.278,45	0,00069	23,21	302,54	-84,43
	per m2a	26,13	1,57E-07	0,00526	0,06858	-0,01914

Tabel 5: Miljøpåvirkninger (Resultater i felter med grøn baggrund kan sammenlignes med andre livscyklusvurderinger efter DGNBs metode.)

	Påvirknings-kategori	NPED (non-renewable primary energy demand)	RPED (renewable primary energy demand)	TPED (total primary energy demand)	TPED / share of RPED
	Enhed	[MJ]	[MJ]	[MJ]	%
Scenario 1 (uden driftsenergi)	total (50år)	-24.255,84	913.136,76	889.013,38	100,0% <sup>15</sup>
	per m2a	-5,50	206,99	201,52	100,0%
Scenario 2 (DK windpower)	total (50år)	24.537,32	3.045.474,74	3.070.062,41	99,2%
	per m2a	5,56	690,35	695,92	99,2%
Scenario 3 (DK GridMix)	total (50år)	1.465.601,11	1.500.731,80	2.966.383,25	50,6%
	per m2a	332,22	340,19	672,42	50,6%

Tabel 6: Energiressourcer (Resultater i felter med grøn baggrund kan sammenlignes med andre livscyklusvurderinger efter DGNBs metode.)

	Påvirknings-kategori	Water usage	Waste	Hazardous waste	Excavation residues	Abiotic resource depletion
	Enhed	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Scenario 1 (uden driftsenergi)	total (50år)	-6.098,20	-11,81	0,12	0,34	0,01
	per m2a	-1,38	-0,00268	2,77E-05	0,00008	3,01E-06
Scenario 2 (DK windpower)	total (50år)	-2.658,51	-11,50	0,12	16,84	0,02
	per m2a	-0,60	-0,00261	2,78E-05	0,00382	5,43E-06
Scenario 3 (DK GridMix)	total (50år)	305.490,16	-9,39	0,12	238,24	0,02
	per m2a	69,24	-0,00213	2,78E-05	0,05400	5,42E-06

Tabel 7: andre udvalgte ressourcer (inputs og outputs)

<sup>15</sup> den beregnede værdi er faktisk 102,2%. At 100% overskrides kan begrundes med at det meste af bygningen er bygge af materialer som ikke benytter sig af fossile ressource og at de fleste materialer har en høj energiindhold (calorific value), som kan genvindes ved forbrænding (EOL). Energien som produceres i forbrændingsprocessen, erstatter energi fra fossile kilder og sænker dermed andelen af fossile ressourcer brugt i energifremstillingsprocessen.

### 3.3.1 Bidrag fra delmodellerne til påvirkningskategorierne

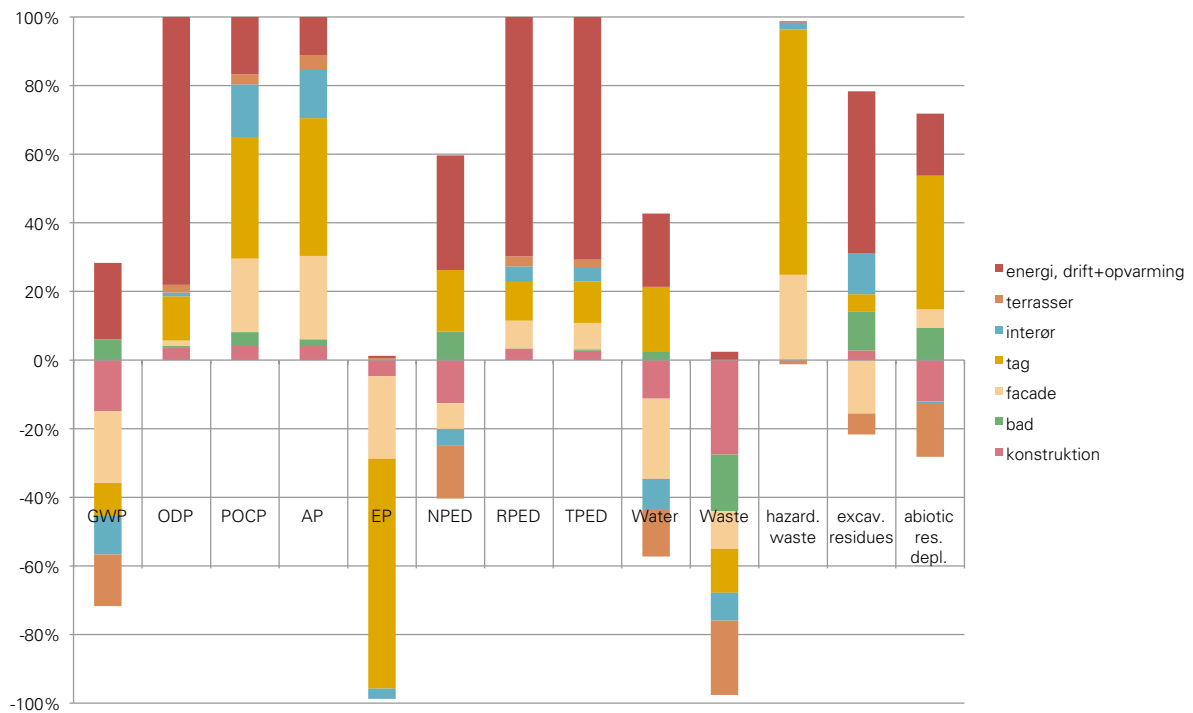


Diagram 2: Bidrag fra delmodeller efter påvirkningskategori for Scenario 2 (DK windpower) over 50 år

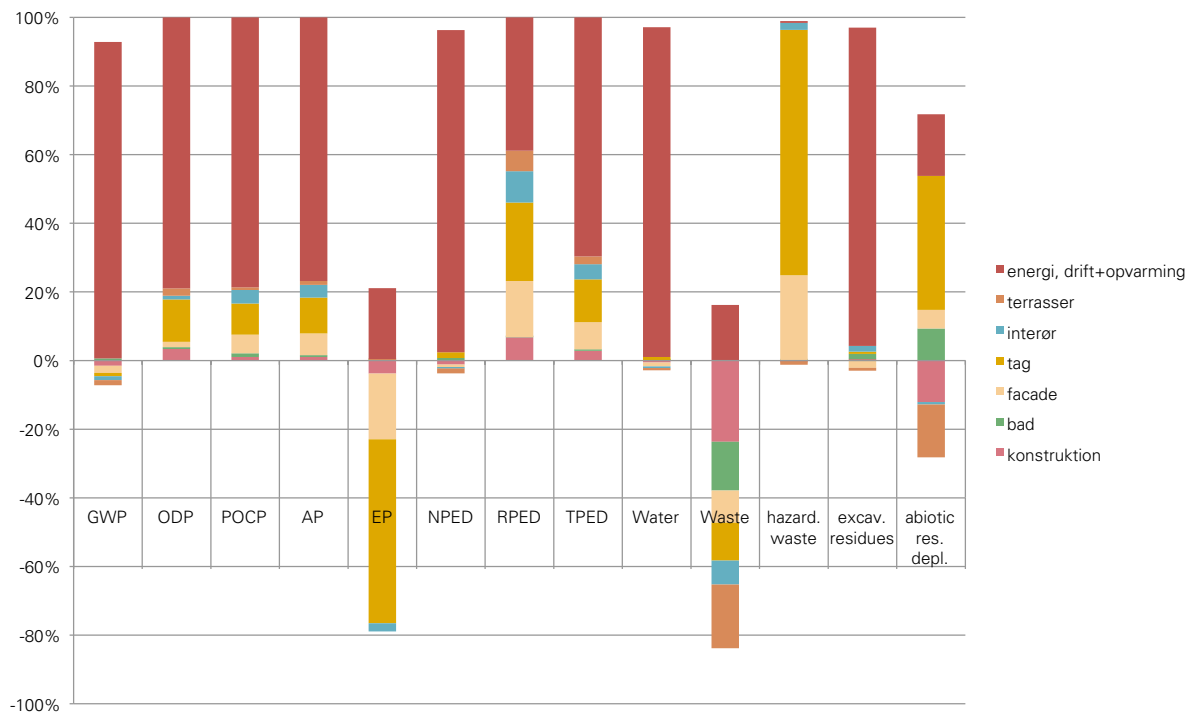


Diagram 3: Bidrag fra delmodellerne efter påvirkningskategori for Scenario 3 (DK GridMix) over 50 år

### 3.3.2 Udvalgte indikatorer

#### CO<sub>2</sub>-footprint<sup>16</sup>

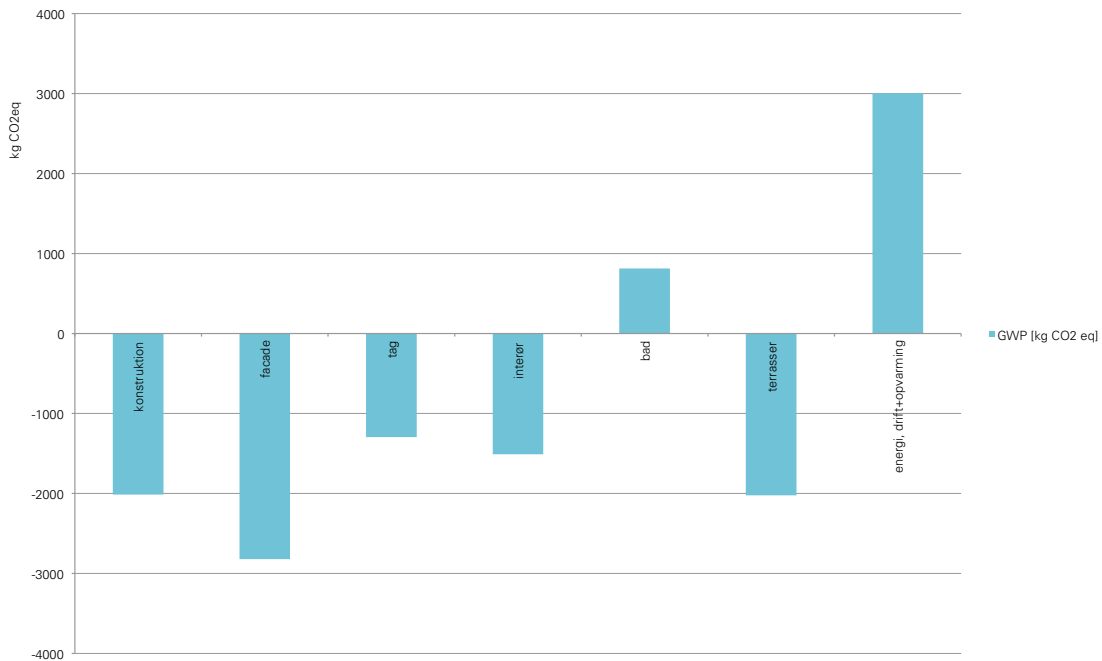


Diagram 4: Global Warming Potential (GWP100) efter bygningsdel for energiscenario 2 (DK windpower) over 50 år

#### Embodied Energy<sup>17</sup>

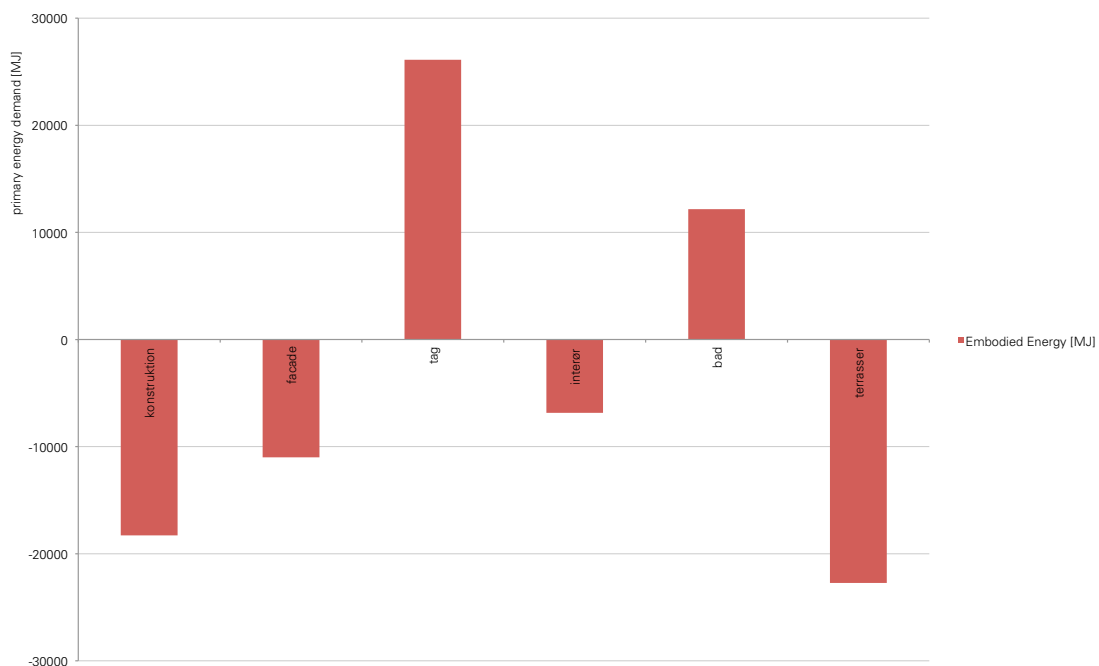


Diagram 5: Non-renewable primary energy demand (NPED) efter bygningsdel over 50 år

<sup>16</sup> CO<sub>2</sub>-footprint er en anden betegnelse for "Global Warming Potential" og samler alle udslip fra kemiske stoffer og forbindelser som har de samme potentielle påvirkninger på miljøet som CO<sub>2</sub>

<sup>17</sup> Embodied energy betegner den energi som blev brugt i materialernes fremstillingsproces, som stammer fra fossile energikilder. Træmaterialer har typisk negative værdier, fordi materialerne har en høj brændeværdi og den indlejrede energi kan udvindes i en forbrændingsproces. Materialer som mursten, beton eller metaller har typisk høje værdier for embodied energy, siden produktionsprocessen er meget energikrævende og materialerne har ingen brændeværdi.



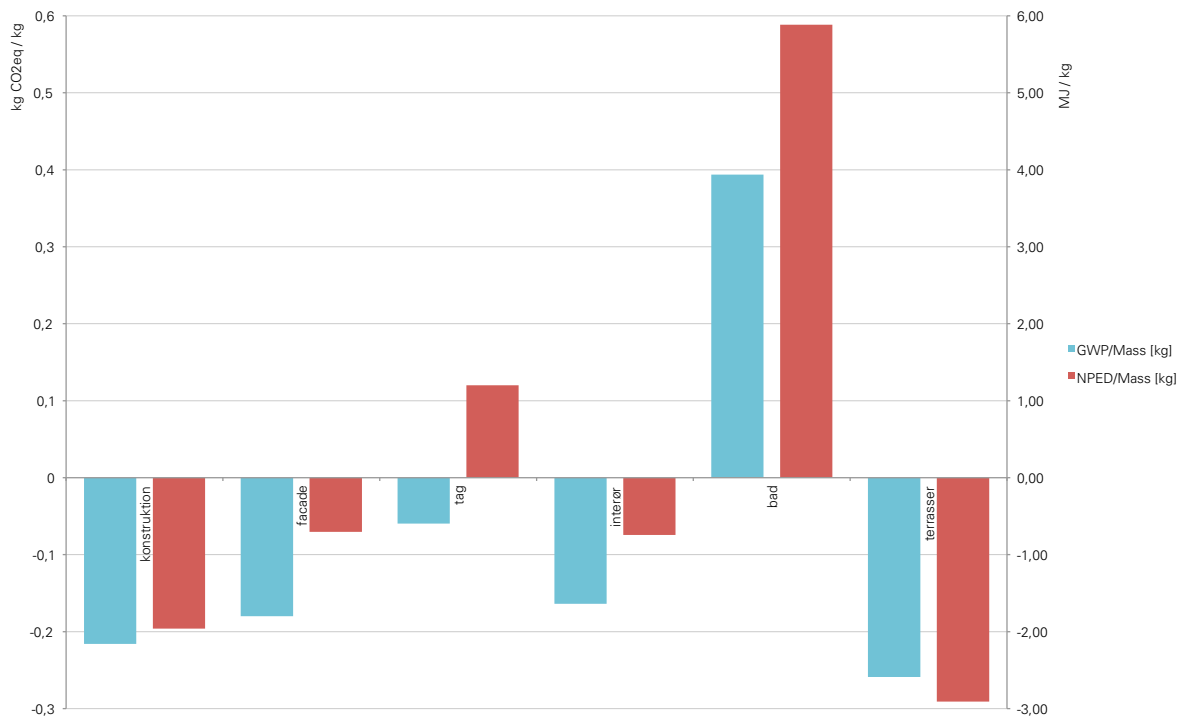


Diagram 6: CO<sub>2</sub>-footprint og Embodied Energy per bygningsdelsmasse [kg]

Tabellerne 5-7 viser resultaterne fra LCIA-fasen, både som totale værdier (blå baggrund) og opgjort per m<sup>2</sup> boligareal og år (50 år).

Diagram 2 og 3 viser delmodellernes bidrag til de forskellige påvirkningskategorier. I Diagram 2 (energiscenarier DK windpower) er bidragene fra tag og facaden dominerende (gul, lysegul), i Diagram 3 er det primært driftsenergien (rød) som forårsager de største påvirkninger.

Negative værdier peger på at delmodellen indeholder en forholdsvis store mængde af materialer som stammer fra enten vedvarende kilder (f.eks. træ) eller materialer som har et stort recycling potential (f.eks. metaller). En kortlægning over hvilke materialer eller komponenter bidrager mest til de enkelte påvirkningskategorier følger i afsnittet Hotspot Analysis.

Diagram 4 og 5 viser særskilt CO<sub>2</sub>-footprint / Global Warming Potential (GWP) og Embodied Energy / Non-renewable energy demand (NPED). Set i sammenhæng med Diagram 6 bliver det tydeligt at bidragene fra delmodellen "bad" til GWP og NPED er forholdsvis høje, når man tager i betragtning at "bad" bidrager mindst til bygnings samlede vægt og volumen af alle delmodeller. Dette skyldes at materialerne brugt i badeværelserne primært har mineralsk oprindelse<sup>18</sup>.

### Miljøpåvirkninger fra materialer og bygningens brug og drift

Materialer udgør en stor del af det samlede miljøregnskab for bygninger. Beregningen for Tanghuset viser at ca. 30% af primærenergien kan relateres til bygningens materialer, mens 70% bliver brugt til bygningens drift.

Alt efter hvordan bygningen forsynes med energi, skifter relationerne for de andre kategorier, som vist i Diagram 7 og Diagram 8.

<sup>18</sup> Såsom klinker, beton, mørtel

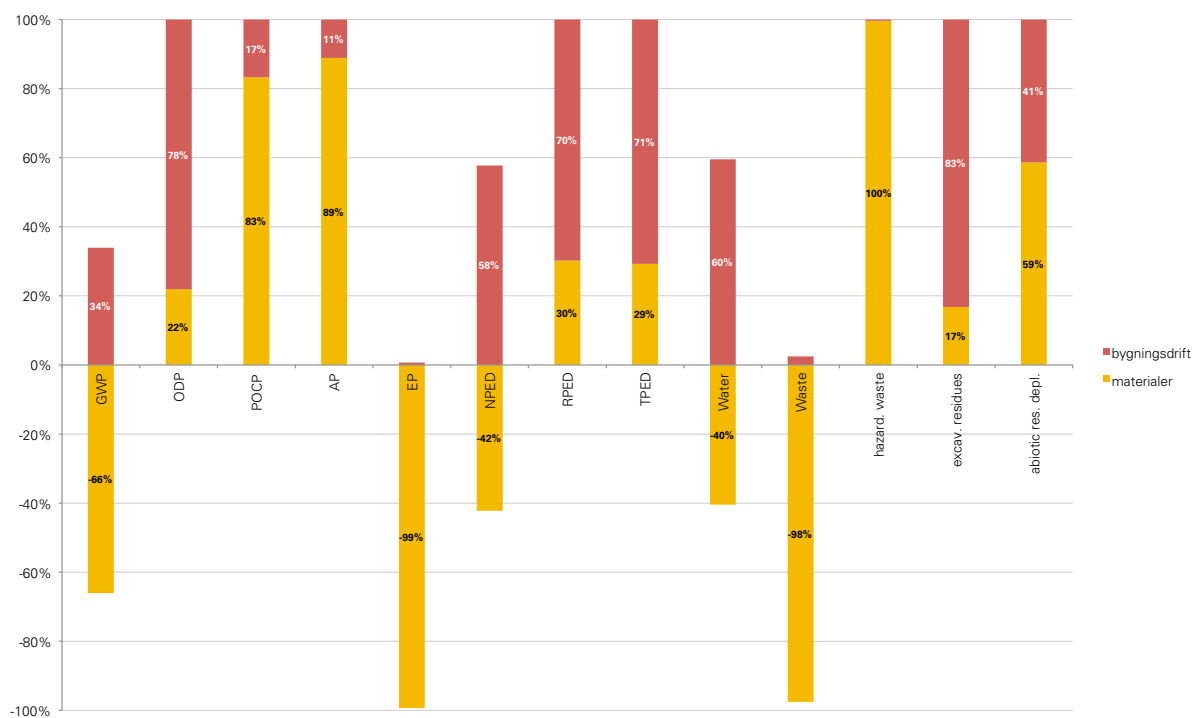


Diagram 7: Bidrag til påvirkningskategorier fra materialer og bygningens drift, Scenario 2 (vindkraft)

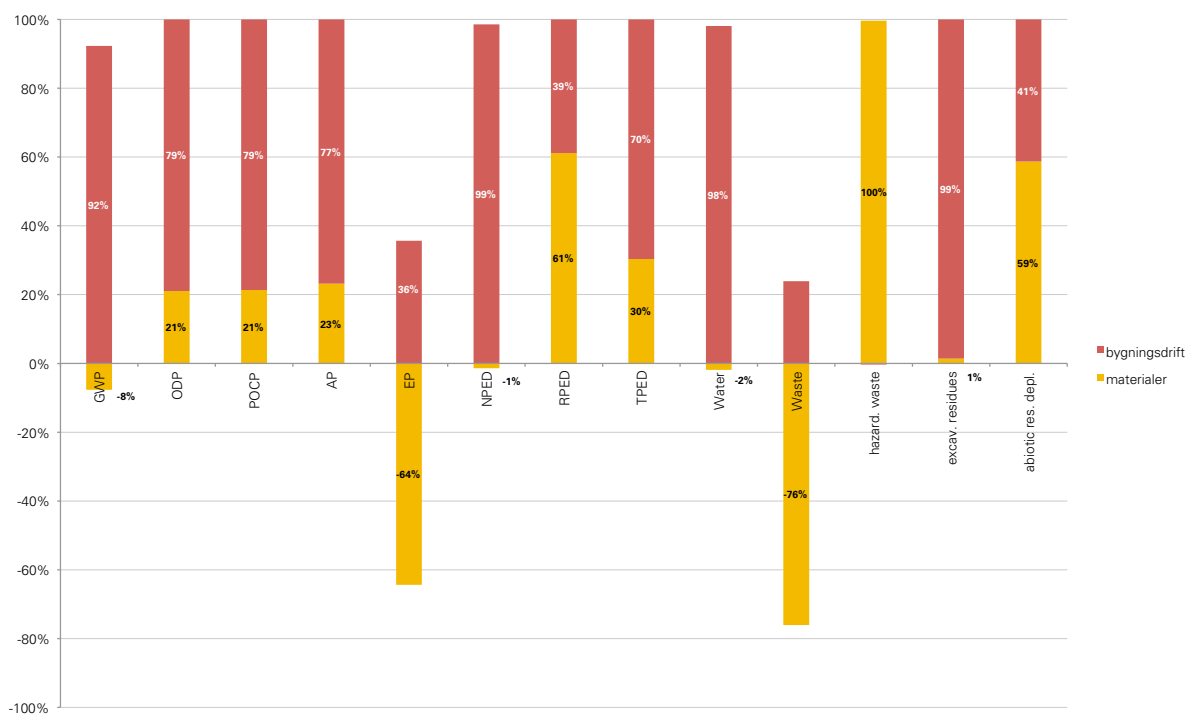


Diagram 8: Bidrag til påvirkningskategorier fra materialer og bygningens drift, Scenario 3 (standard el)

## Ålegræs som isolering

I tanghuset bruges ålegræs som isoleringsmateriale. Ålegræs har udmærkede egenskaber som isoleringsmateriale, både i forhold til isolans og fugtresistance (se også afsnit 4.1 om ålegræs). Udover det er ålegræs et rent naturprodukt og behøver ikke tilsætningsstoffer eller efterbehandling, for at kunne anvendes som isoleringsmateriale. Ca. 11 % af husets masse på ca. 65,8 tons bliver udgjort af ålegræs, enten som isoleringsmateriale (8,6%) eller taginddækning og facadebeklædning (2,6%). Med henblik på isoleringsevnen har ålegræs lignede kvaliteter med som stenuld<sup>19</sup> eller træfiberisolering. Sammenligningen af disse tre typer isoleringsmateriale skal vise forskellene på miljøpåvirkningerne som konsekvens af materialevalget.

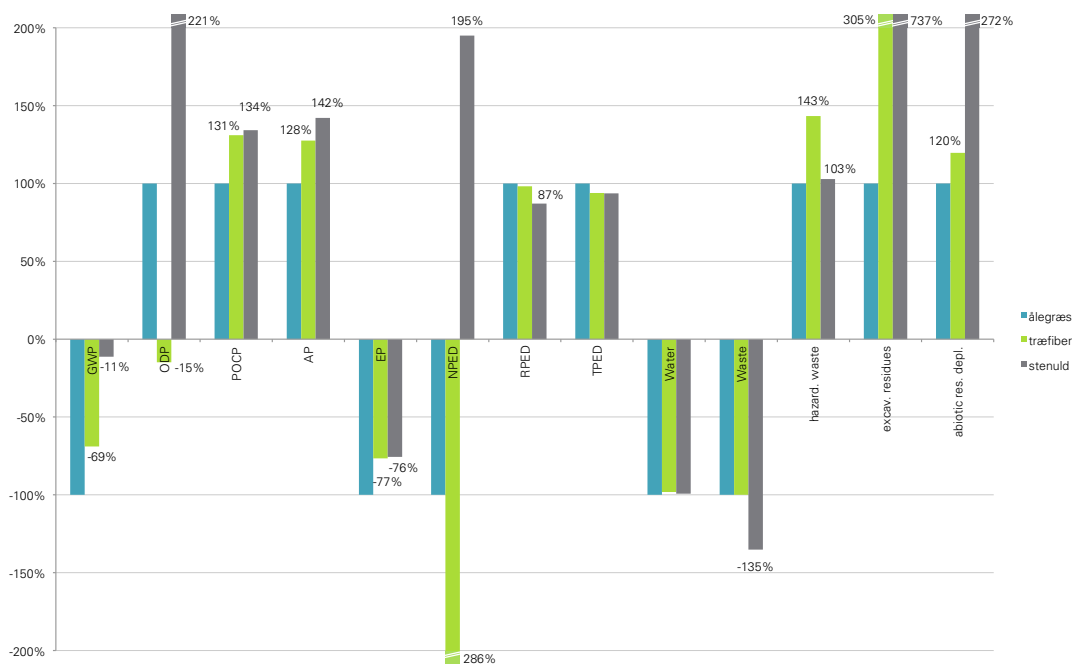


Diagram 9: Ændring af miljøpåvirkningerne ved udskiftning af ålegræs isoleringen (blå) med træfiber isolering (grøn) eller stenuld (grå)

Diagram 9 viser Tanghusets miljøprofil. Profilet vil blive forandret i næsten alle påvirkningskategorier når materialevalg for klimaskærmens isolering ændres. I sammenligningen er tanghuset med ålegræsisolering altid angivet med 100% (eller -100% i tilfældet at udgangsværdien er negativ). Værdierne for træfiberisolering eller stenuldisolering viser ændringerne i forhold til miljøpåvirkningerne beregnet i scenario 1 (uden energiforsyning).

Det bliver tydeligt at ålegræs isoleringen er et godt CO<sub>2</sub>-lager og at ålegræsset har en stor betydning for bygningens samlede CO<sub>2</sub>-regnskab (se også afsnit 4.3.). Til gengæld viser værdierne for NPED, at brugen af træfiberisolering kunne reducere bygningens "indlejrede energi" (embodied energy) med yderlige 186%, mens brugen af stenuld betød en ca. 295% højere værdi end ved brug af ålegræs isoleringen. Dette skyldes, at træfiberisoleringen kan forbrændes ved EOL og udvindingen af varmeenergi erstatter energi fra andre fossile energikilder. Ålegræs skal nedbrydes biologisk og egner sig knap så godt til forbrænding<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Ålegræs har en  $\lambda$ -værdi på 0,0376 (Pedersen & Ransby 2005, p.4), for stenuld er  $\lambda$ -værdien omkring 0,04 (afhængig af det specifikke produkt)

<sup>20</sup> se også afsnittet om ålegræs som bygningsmateriale

### 3.3.3 Hotspot Analysis

En hotspot analysis (livscykluscreening) kan anvendes for at identificere enkelte processer i et produktsystem, som bidrager mest til påvirkningskategorierne. I forbindelse med bygningens designoptimering er det dog mere relevant at identificere materialer og komponenter, som har de største potentialer for at nedbringe mulige miljøpåvirkninger, for eksempel gennem en substituering med andre materialer med en bedre miljøprofil.

Et enkelt materiale som bidrager mere end 20% indenfor en påvirkningskategori anses som en hotspot.

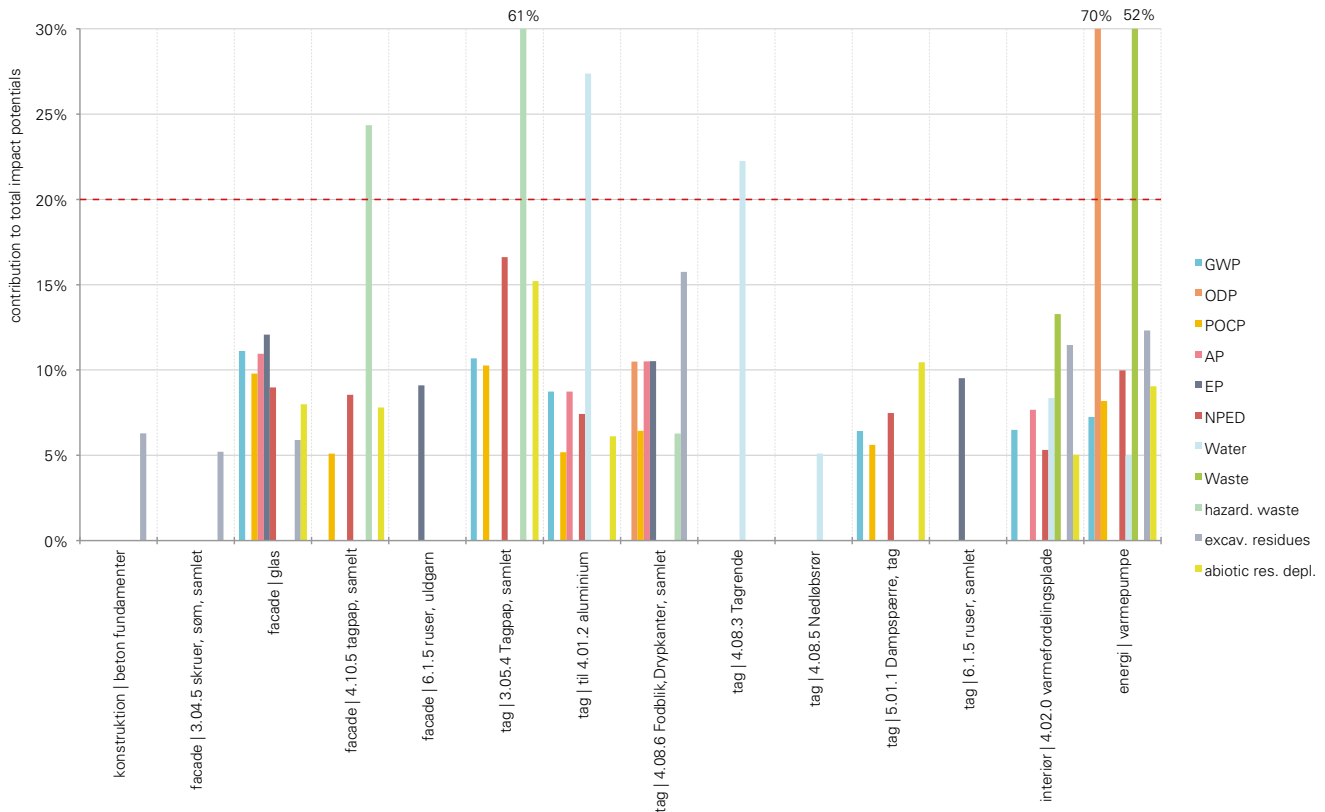


Diagram 10: Hotspot analysis, materialer/komponenter med en bidrag på mere end 20% (rød linje) er hotspots

I Diagram 7 vises alle materialer anvendt i bygningen som bidrager med mere end 5% indenfor en påvirkningskategori og resultaterne er kun opgjort for et udvalg af påvirkningskategorier for at forenkle diagrammet. Der er ikke foretaget en vægtning og dermed ikke taget stilling til om bidragene på tværs af kategorierne med samme værdier også indebærer sammenlignelige skadepotentialer.

Diagram 7 viser, at kun 4 materialer/komponenter kan identificeres som hotspots (>20%):

Tagpap/facade, Tagpap/tag, aluminium/tag, tagrender og varmepumpen.

Varmepumpen viser nogle meget store bidrag i især to påvirkningskategorier: ODP og Waste.

Varmepumpens bidrag til ODP er faktisk også synlig i Diagram 2 og 3, hvor bidraget fra energiforsyning og drift er ens i begge to diagrammer. Varmepumpen bruger formodentlig kølemidler som har et stort ODP, mens alle andre materialer er næsten fri for stoffer med ODP. Men siden beregningen ikke er baseret på specifikke producent data, kan der ikke drages en præcis konklusion udefra analysen angående varmepumpen.

Tagpap kan desuden klar identificeres som hotspot for kategorien "hazardous waste", og principielt også for "abiotic resource depletion" og NPED. I projektet bliver tagpap anvendt som primær taginddækning og som inddækning af de faste afskærmningselementer i facaden. På grund af den lignende funktion kan man sammenfatte disse to poster. Tagpap bidrager ifølge med over 15% i kategorierne GWP og POCP, med over 25% til NPED, ca. 86% til "hazardous waste" og med 23% i kategorien "abiotic resource depletion".

Aluminium bliver brugt som rammemateriale til husets ovenlys. Aluminium er kendt for at have høje miljøpåvirkninger, herunder især vand- og energiforbrug. I livscyklusscreeningen bliver det høje vandforbrug meget tydelig, selvom der ikke bruges en stor mængde aluminium i bygningen<sup>21</sup>.

Alternativer til aluminium kunne være trærammer, men det vil også medføre en højere vedligeholdelsesindsats, gentagende overfladebehandlinger, mfl. Derfor skal punktet undersøges nærmere om vandforbruget kan nedbringes ved materialeskift, og om materialeændring ikke medfører andre påvirkninger. Det samme er gældende for tagrender (og nedløbsrør).

Delkonklusionen på hotspot analysen er at tagpap kunne udskiftes med et andet materiale for at reducere miljøpåvirkningen. I den første iteration blev stadigvæk anvendt tagpap på taget, men også facaden. Som konsekvens af resultaterne fra den første iteration blev bygningen efterfølgende ændret sådan at tagpappen på facaden kunne fjernes. Tagpappen på taget bliver desuden inddækket med ålegræs, som kommer til at beskytte tagpappen og det vil sandsynligvis forlænge tagpappens levetid. I beregningen er derfor antaget en levetid på 30 år<sup>22</sup>.

## End-of-Life

End-of-Life (EOL) betegner den fase i livscyklusbetragtningen, som følger på brugs- og driftsfasen. End-of-Life beskriver forskellige scenarier for de forskellige materialer og komponenter som indgår i bygningen. Fordi End-of-Life ligger i fremtiden er der altid en stor usikkerhed forbundet med det antagne scenario og i denne livscyklusvurdering blev derfor valgt en konservativ<sup>23</sup> tilgang til disse scenarier. For alle materialer som har en brændeværdi er EOL fastsat til forbrænding for at udvinde energi. For materialer som kan recycles til tilsvarende råmaterialer (f.eks. metaller) antages en recyclingkvote (ifølge kommentarer i ökobau.dat databasen). For materialer som ikke kan genanvendes eller recycles antages deponering som EOL.

Diagram 8 viser betydning af EOL-fasen for materialerne fra tanghuset og skal vise den store indflydelse af fasen for det samlede resultat. I tilfældet for GWP for eksempel stammer over 40% af CO<sub>2</sub>-udslippet fra EOL-faser og næsten alt affald kan relateres til EOL-faser. Til gengæld er EOL også den fase hvor energiudvindingen bliver synligt: Så bliver f.eks. NPED reduceret gennem forbrænding af træmaterialer.

Diagrammet skal give anledning til at tænke over hvordan levetider kan forlænges således at EOL-fasen udskydes længst muligt for at forsinke påvirkningerne fra denne fase.

---

<sup>21</sup> Bygningen består i stort omfang af materialer fra vedvarende kilder, som træ, ålegræs eller hør. Dermed bliver de få materialer (især metaller) som er baseret på fossile ressourcelkilder, fremhævede i en direkte sammenligning.

<sup>22</sup> I stedet for 20 år som producenten garanterer (ICOPAL)

<sup>23</sup> Konservativ betyder at der antages den mindst fordelagtige EOL-scenario og at der ikke regnes med et teknologifremskridt. Et teknologifremskridt kunne betyde at materialer som ikke kan recycles i dag, kan recycles i fremtiden, eller at recycling processer er blevet mere effektive.

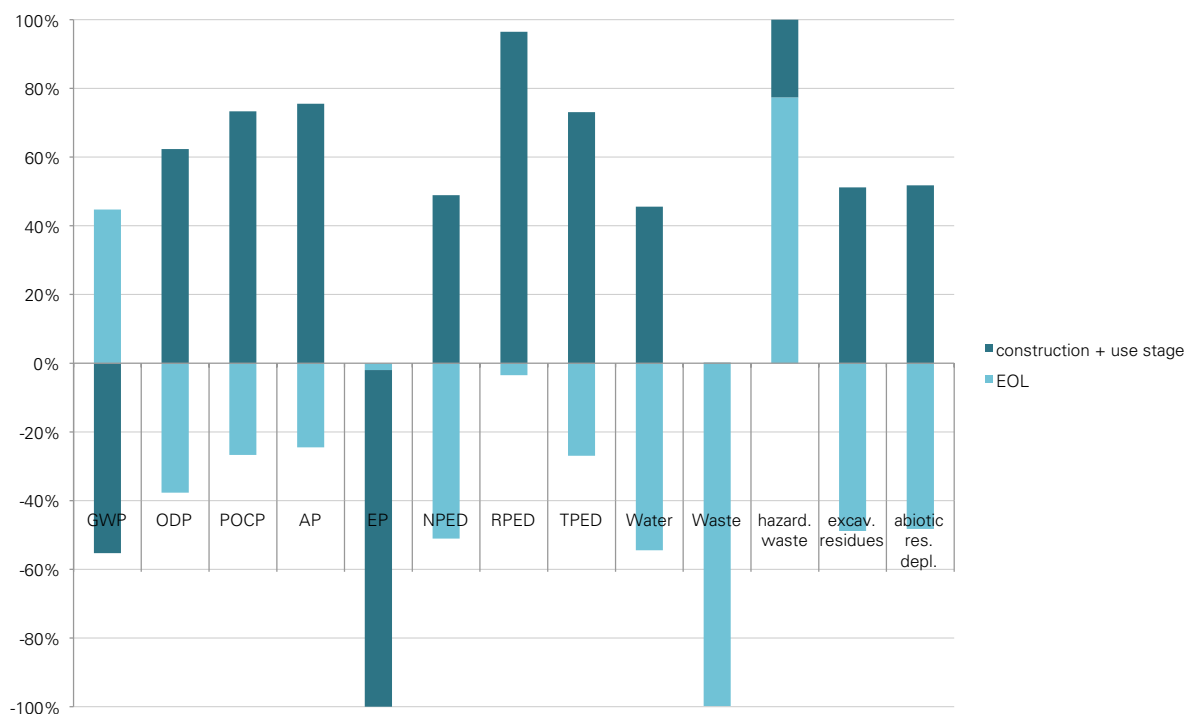


Diagram 11: Bidrag til påvirkningskategorierne fra End-of-life fasen

### 3.3.4. Sensitivity analysis (følsomhedsanalyse)

En følsomhedsanalyse kan bruges til at kvantificere variationen af resultatet for en livscyklusberegning, som bliver udløst af en parameterændring for antagne værdier.

I følsomhedsanalysen ændres nogle paramter med +/-10%, for at se hvordan ændringen påvirker resultaterne. Denne information kan hjælpe at vurdere hvilke parametre og antagelser indebærer en stor risiko for fejl i vurderingen.

Beregningsmodellen har vist sig i vis grad at være følsom over for masseændringer (se Diagram 12), og viser relevant følsomhed for en ændring af levetider (se Diagram 13).

Analysen med ændrede masseparameter viser at modellen reagerer ens for negative eller positive masseændringer. Resultater for vandforbrug eller GWP viser større udsving end 10%, som formodentlig har årsagen i brugen af mange træ-baserede materialer. Usikkerheden omkring datakvaliteten for mængde- og masseangivelserne anses som ringe, da datagrundlaget fra arkitekterne er på et meget højt niveau og detaljeringsgrad (BIModell og Byggebeskrivelse).

Resultatet for analysen med ændrede levetider viser derudover en meget større følsomhed overfor levetidsreduceringer. Grundet til dette ligger i den fastlagte betragtningsperiode af 50 år og årsagen at miljøpåvirkninger ikke omlægges til levetider på årsbasis ifølge DGNBs system (se også 5. Diskussion – levetider). Længere levetider (+10%) har ingen en stor effekt på resultatet for LCIA'en, fordi kun få materialer har en skønnet levetid som ligger så tæt på 50 år (>46 år) at en ændring med +10% vil betyde et mindre antal udskiftninger i løbet af betragtningsperioden. En ændring med -10% for levetiderne har desuden en stor effekt på mange påvirkningskategorier (se Diagram 12), fordi mange materialer med en forholdsvis kort levetid (<27 år) kommer til at blive udskiftet flere gange ifølge en forkortet levetid.

Dette resultat bekræfter vigtighed for antagelserne omkring levetider. 50 år er en forholdsvis lang periode og usikkerheden omkring levetider er forsat stor.

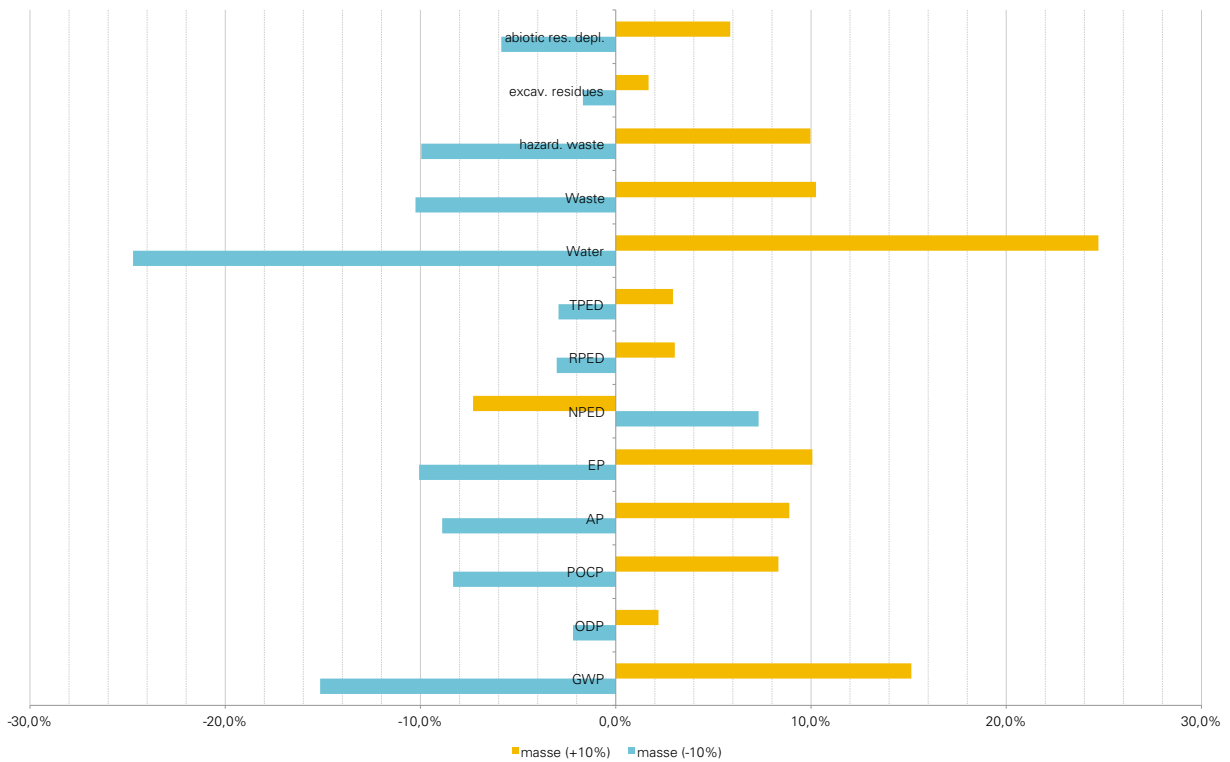


Diagram 12: Følsomhedsanalyse for parameteren masse (scenario 2). Massen for alle materialer er reduceret med 10%.

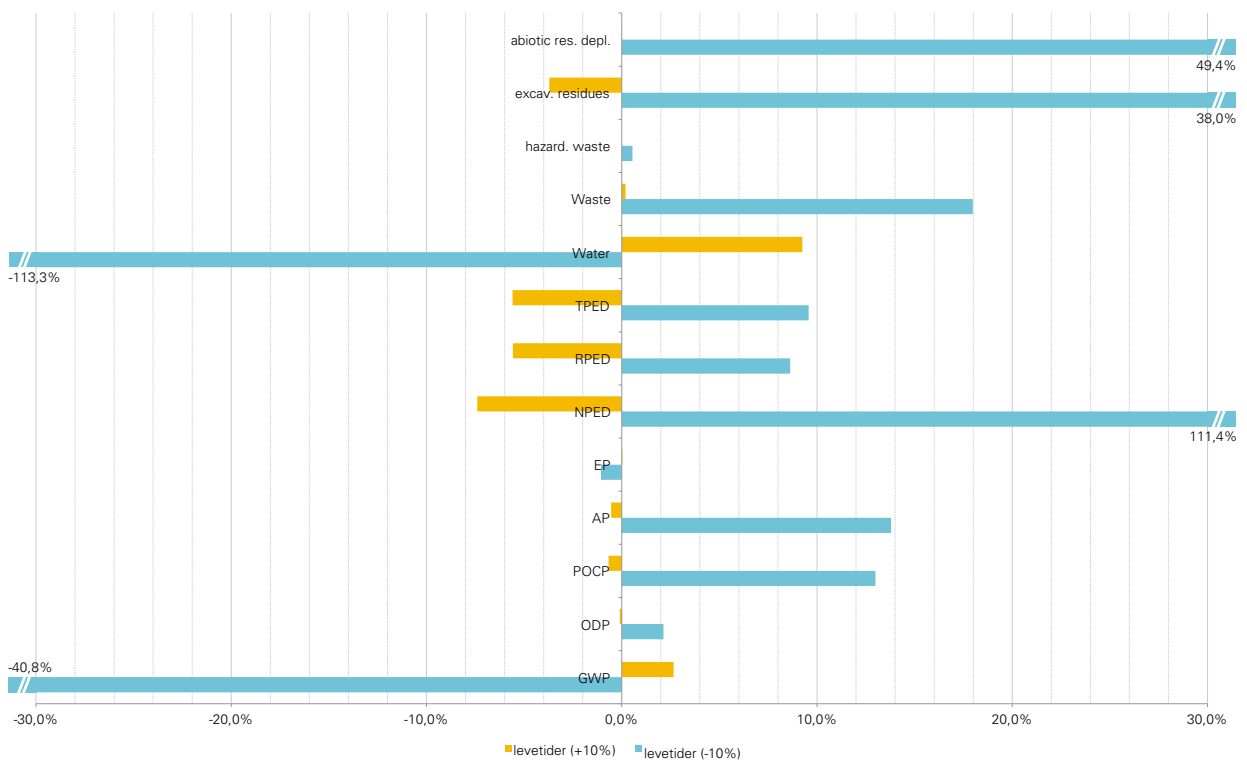


Diagram 13: Følsomhedsanalyse for parameteren levetiden (scenario 2). Levetiden er reduceret med 10% for analysen.

### 3.4. Interpretation

Resultatet for livscyklusvurderingen viser at Tanghuset i princippet ikke forårsager store mulige miljøpåvirkninger igennem en antaget levetid på 50 år.

Tilgangen til beregningen er valgt forholdsvis konservativ, især hvad angår valget af End-of-Life scenarier, men også data fra databasen har fået pålagt en usikkerhedsfaktor af 10% i forvejen, hvor datakvaliteten ikke kunne sikres. En konservativ tilgang mindsker risikoen for at vise for gode resultater i vurderingen, som måske vil føre til en fordelagtig fortolkning.

I de fleste påvirkningskategorier bliver resultatet dog bestemt af typen for energiforsyningen. I tilfældet af fritidshuset på Læso sker energiforsyningen gennem strøm, da ikke andre kilder står til rådighed. Dette gør at resultatet svinger meget, alt efter hvilken kilde man antager for el-forsyningen. Da formålet med LCA'en ikke er at sammenligne forskellige typer energiforsyning, men vise hvor afgørende materialerne og materialevalg for de resulterende miljøpåvirkninger er, diskuteres energiforsyningen kun kort.

Resultaterne for scenarierne 2 og 3 (el fra vind / el fra nettet) viser, at valget af energiforsyningen er afgørende for det endelige resultat. Udtrykt i faktorer afviger resultaterne for scenario 2 mellem 1 og 130 fra scenario 3. For påvirkningskategorien GWP (kg CO<sub>2</sub>eq) viser scenario 3 ca. 19 gange højere værdier end scenario 2. Værdierne for scenario 1 (uden energiforsyning) viser at materialerne i bygningen i det hele taget har et meget lavt niveau for mulige miljøpåvirkninger. For eksempel er GWP negativ (-8,8 tons CO<sub>2</sub>eq/50år), som henviser til at bygningen primært er lavet af materialer som har bundet mere CO<sub>2</sub> end der udledes ved deres EOL<sup>24</sup>. Om en negativ GWP kan være korrekt som resultat, diskuteres mere generelt i afsnit 4.3.

Materialer har en stor betydning i bygningens samlede regnskab over 50 år. Materialer står for ca. 30% af det samlede primærenergiforbrug for bygningen, energi til drift og opvarmning udgør ca. 70%. Fordelingen svarer til den typiske fordeling for lavenergibygninger, som – idet at energibehovet for bygningens drift er reduceret meget i forhold til ældre bygninger – viser en voksende relevans for materialer og miljøpåvirkninger fra produktionsfasen.

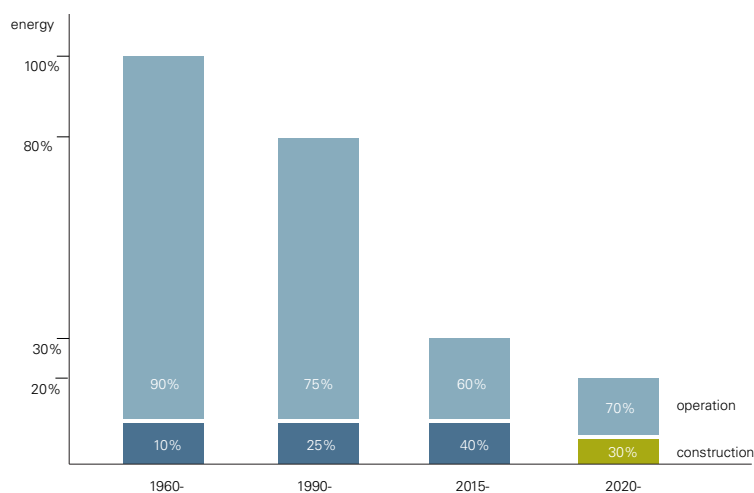


Diagram 14: Bidrag fra konstruktions og driftsfasen til det samlede energiregnskab for boligbygninger i DK siden 1960

<sup>24</sup> for en diskussion om negative værdier for CO<sub>2</sub>, se afsnit 4.2. diskussion



Tallene fra Tanghuset falder dermed fint sammen med tal som kan forventes for lavenergibyggeri frem til 2020.

Hotspot analysen har ikke udpeget nogle enkelte materialer eller komponenter som forårsager forholdsvis store påvirkninger og som kunne undgås gennem et ændret materialevalg. Analysen viser at materialer som tagpap, aluminium, eller glas er ansvarlig for en stor andel af påvirkningerne. Men om der findes andre materialer med den samme funktion og som forårsager mindre påvirkninger er ikke en del af denne undersøgelse. Der skal dog nævnes at materialevalget for Tanghuset allerede er blevet ændret efter den første iteration for at reducere miljøpåvirkningerne, her var det især mængden af tagpap som blev reduceret. Med hensyn til brugen af materialer som glas, er det vanskeligt at finde alternative materialer, men man kunne prøve at reducere massen på ruderne (2-lags glas i stedet for 3-lags glas) for at reducere påvirkningen fra disse poster. En energibehovsberegning har dog vist, at det kun bliver til en miljømæssig fordel, hvis bygningen bliver forsynet med energi fra vedvarende energikilder<sup>25</sup>.

Fåruldsgarn, som anvendes til produktion af ålegræs ruser til facaden og taget, har vist sig at være et materiale med meget høje miljøpåvirkninger på kg-basis (se Bilag 5.3.2, diagrammer GWP og NPED). Siden fåruldsgarn ikke anvendes i stor mængde til fremstilling af ruserne, bliver disse relativt høje påvirkninger ikke synligt i hotspot analysen.

Følsomhedsanalysen har vist, at især alle antagelser for levetider er meget afgørende for resultatet. Levetider for denne vurdering stammer fra en anerkendt kilde, men alligevel er tallene behæftet med en vis usikkerhed. Især afhængigheder mellem forskellige bygningskomponenter og –materialer kan være med til at forkorte levetider og dermed resultere i større miljøpåvirkninger end nu beregnet. Med hensyn til End-of-Life er kun en mindre del recycling eller genbrug indregnet i livscyklusvurderingen, men hvis bygningen kan skilles ad i rene materialer og der findes en ny anvendelse for de fleste af materialerne vil en stor del af de påvirkninger som kan relateres til End-of-Life fasen, undgås.

### **CO<sub>2</sub>-footprint og Embodied energy**

”Det moderne tanghus” kunne forblive CO<sub>2</sub>-neutral over en periode af over 150 år, hvis man kun ser på CO<sub>2</sub>-udledningen (GWP), som bliver forårsaget af materialer og deres produktion. Dette skyldes især de forholdsvis store mængder træ, men også ålegræs, som skal tilføres bygningen gennem udskiftninger i brugsfasen og som udjævner udledningen fra andre byggematerialer med en fossil basis. Med hensyn til den indlejrede energi i materialer (embodied energy / NPED), varer perioden, hvor den samlede indlejrede energi er negativ, kun ca. 50 år (se Diagram 15).

---

<sup>25</sup> Brugen af 2-lags glas reducerer U-værdien på vinduerne og medfører en større varmetab om vinteren. Dette varmetab skal udjævnes med en øget varmebehov, som kommer til at forhøje energibehovet i driftsfasen af bygningen. En BE10 beregning har vist at energibehovet stiger med ca. 2,5kWh/m<sup>2</sup>a, hvis 2-lags glas bliver anvendt frem for 3-lags glas. Denne reduktion af glasmængden betyder også en reduktion af f.eks. GWP med ca. 700kg over 50år, hvis bygningen bliver opvarmet med energi fra vedvarende kilder (strøm fra vindkraft). Bliver bygningen dog opvarmet med el fra nettet er forårsager den øgede varmebehov en større CO<sub>2</sub>-uslip på ca. 5 tons/50år.

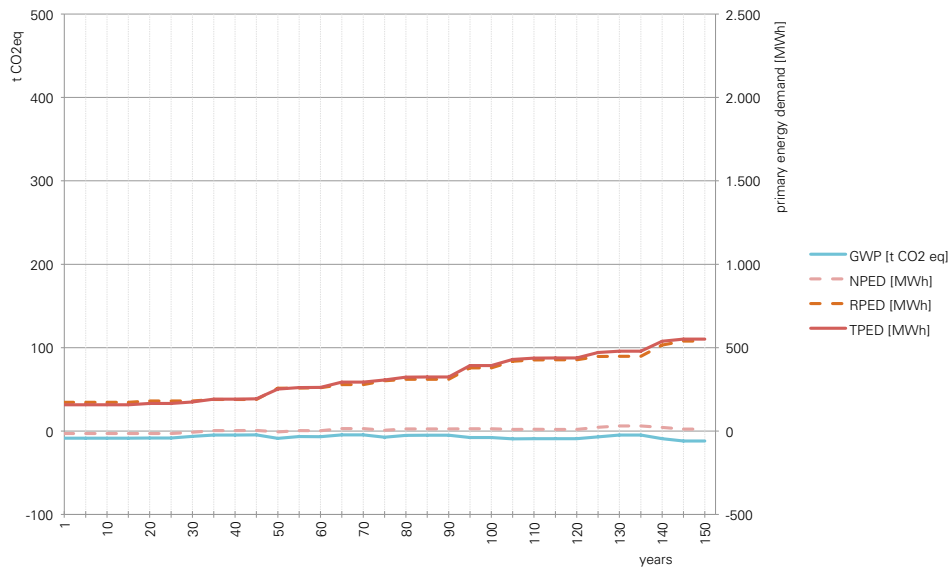


Diagram 15: GWP og Primary Energy Demand over 150 år, Scenario 1 - kun materialer, ingen energiforsyning

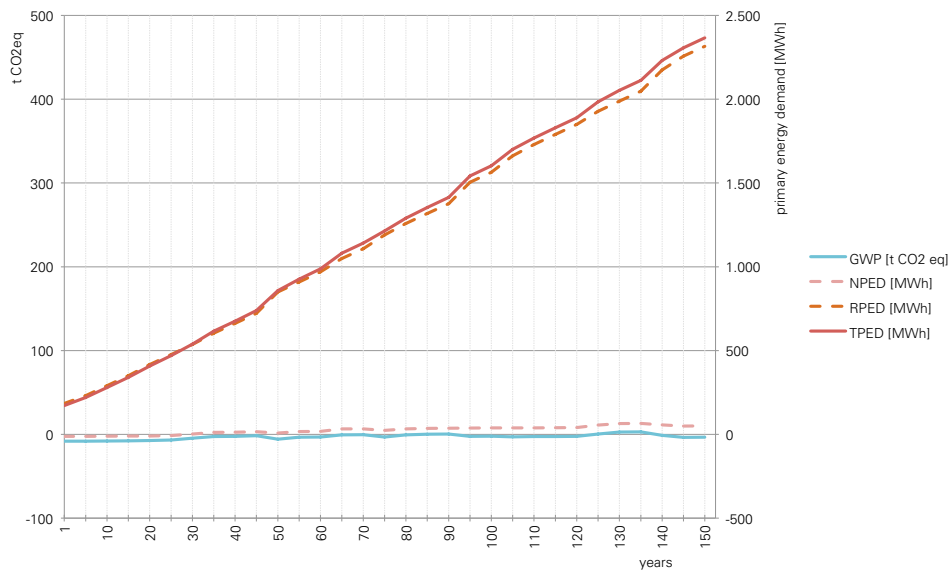


Diagram 16: GWP og Primary Energy Demand over 150år, Scenario 2 - driftsenergi fra vindkraft

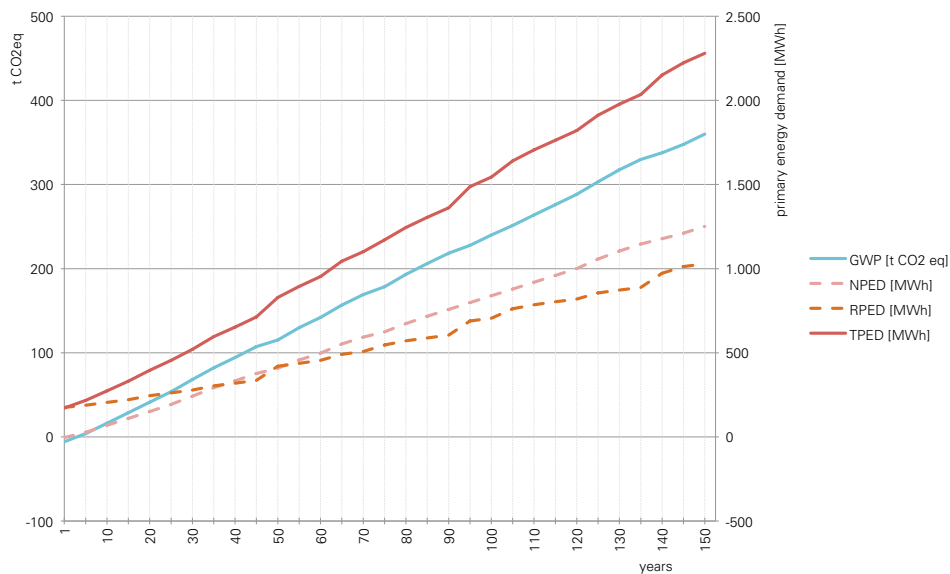


Diagram 17: GWP og Primary Energy Demand over 150år, Scenario 3 – driftsenergi fra GridMix DK

Diagram 16 og 17 viser CO<sub>2</sub>-udledningen (GWP) og primær energi behovet (primary energy demand) ved de to tidligere anførte energiforsynings scenarier<sup>26</sup>. Bygningen skal opvarmes med el (varmepumpe) mangels alternativer energikilder på stedet og det medfører, at energibehovet for bygningens drift er relativt højt i forhold til lavenergi bygninger efter BR10.

Ved scenario 2 (el fra vindkraft) er CO<sub>2</sub>-udslippet fra energiforsyningen så ringe, at CO<sub>2</sub>-neutralitet kan opretholdes over mindst 150 år. Ved scenario 3 kan den i bygningen bundne CO<sub>2</sub>-mængde kun neutralisere CO<sub>2</sub>-udslippet fra energiforsyningen i ca. 4 år.

Et lignende billede kan tegnes for den indlejrede energi (NPED), ved scenario 2 er primær energi behovet fra ikke-vedvarende kilder ringe, men alligevel reduceres tidsrummet for energi-neutraliteten til ca. 29 år (Diagram 16). I scenario 3 stammer en stor del af el-produktionen fra gas- eller kulkraftværker og det medfører et stort behov for ikke-vedvarende energibærere. Samlet set kan bygningen med sin (negative) indlejrede energi kun udligne energibehovet i ca. 1 år.

Udfordringen med en korrekt beregning for miljøpåvirkninger som muligvis forårsages gennem bygningens energiforsyning ses især i perspektivet i, at sammensætning af energiforsyningen i Danmark kommer til at ændre sig gennem bygningens levetid. Tal fra Energistyrelsen (Energistyrelsen (ENS) 2012) viser, at mængden på vedvarende energikilder vil udgøre ca. 40% i 2035, mens andelen af energi fra kul eller gas skal være faldende.

Alligevel viser resultaterne fra livscyklusvurderingen, at "Det moderne tanghus" er en bygning med potentiel meget lave miljøpåvirkninger. En bygning med et mindre stor fokus på materialer fra fornyelige ressourcer, ville med stor sandsynlighed vise meget større miljøpåvirkninger. Især ålegræs anvendt som isoleringsmateriale og træmaterialerne er grunden til de lave værdier i næsten alle kategorier, som livscyklusvurderingen viser i scenario 1. P.t. mangler der dog livscyklusvurderinger fra lignende bygninger for at kunne sætte resultatet i relation og præsentere en entydig konklusion om størrelsesordenen af bygningens mulige miljøpåvirkninger.

---

<sup>26</sup> el fra vindkraft (scenario 2) og el fra dansk standard el-forsyningen (DK Grid Mix)

## 4. Diskussion, perspektivering og uddybende beskrivelser

### 4.1 Råstof ålegræs som byggemateriale

Ålegræs som byggemateriale har en særlig betydning for Tanghuset og formålet med projektet er at vise nye muligheder for det gamle byggemateriale. I projektet bliver ålegræs anvendt som tag- og facadebeklædning og som isolering.

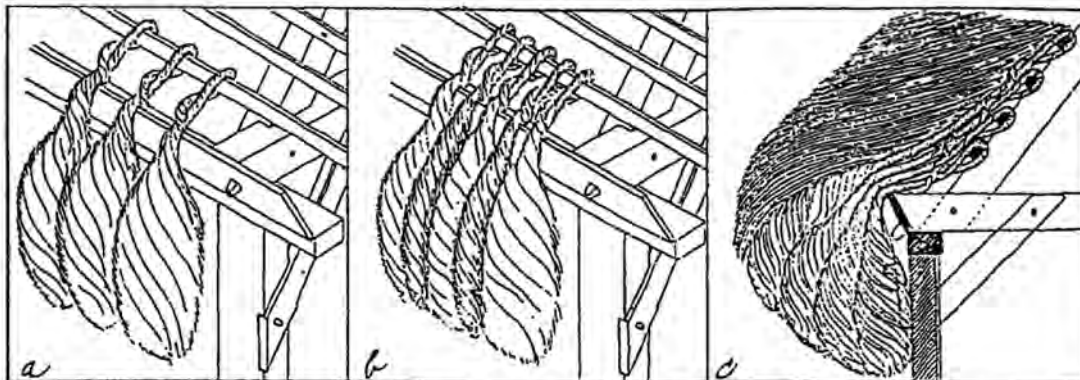
Ålegræsset er en vandplante af familien *Zostera marina*. Planten vokser under vandet i en dybe af 2-4m og findes forskellige steder i Danmark, både i Østersøen og Vesterhavet. *Zostera marina* kan deles op i blade og rhizomer (rødder). Til ålegræs isolering og taginddækning bliver kun anvendt bladene.

Ålegræs blev i lang tid brugt som byggemateriale, men også som fyld for madrasser, som gødning i landbruget eller som foder til husdyr. Højtiden for ålegræsproduktionen var i begyndelsen af det 20. århundrede og ålegræs blev på dette tidspunkt også eksporteret til andre europæiske lande, såvel som Nord- og Sydamerika (Bugge Mortensen 2001).

### Ålegræs som taginddækning

Især på Læsø blev ålegræs traditionelt anvendt som materiale til taginddækning. Læsø var historisk set meget fattig på træ og dermed blev byggematerialer som brændte mursten eller tegl næsten umuligt at fremstille. Tangtag og deres særlige byggeskik findes og fandtes kun på Læsø.

Tagene blev inddækket med løs tang i ca. en meters tykkelse. Kun ved tagfoden blev "tangvasker" bundet fast til den nederste lægte for at danne en "vaskervold", som skulle forhindre at det løse ålegræs vil "skride ned" fra taget (Kibsgaard et al. 2012, p.14).



**Fig. 8. Tangtagets Konstruktion.** De lange Vaskehalse snoes om den nederste Lægte og Vaskerne skubbes tæt sammen og Fordybningerne mellem Vaskerne fyldes til med de tyndere Gumlinger. I Almindelighed lægges der Vasker og Gumlinger om de tre til fire nederste Lægter, hvorved der dannes ligesom en Tangvold forned, og her ovenpaa lægges den løse Tang Læg for Læg.

Billede 1: Tangtagets Konstruktion af arkitekt Hans Henrik Engqvist, 1944 (fra artikel i "Nationalmuseets arbejdsmark 1944"). (Kilde på billedet og billedtekst: Kibsgaard et al. 2012, p.14)

Ålegræsset brydes ned i en mikrobiologisk proces<sup>27</sup> og tangtagene blev vedligeholdt ved at pålægge nye tanglag, når det blev nødvendigt. Tangtagene består derfor af forskellige lag ålegræs i forskellige nedbrydningsstadier. I rapporten "Karakteristik af tangtag – nedbrydelighed og kemisk

<sup>27</sup> af bakterier

sammensætning" (Kristensen & Holmer 2012) beskrives den kemiske sammensætning af de forskellige lag og forholdene for den mikrobiologiske nedbrydningsproces. Ifølge rapporten bliver halveringstiden for et tag med en tykkelse på en meter antaget med 50-100 år. Forudsætningen for den naturlige nedbrydningsproces er varme temperaturer, ilttilførsel og fugt. Ved nedbrydningsprocessen omdannes kulstof til CO<sub>2</sub>, som bliver udledt til atmosfæren. Taget synker sammen og tilbage bliver organisk aske<sup>28</sup> som i de nederste lag udgør op til 90% af tagets masse. De sådan komprimerede tanglag danner et vandtæt tag og kan veje op til 170kg/m<sup>2</sup> (Kibsgaard et al. 2012, p.41).

På "Det moderne tanghus" bliver taginddækningen ikke udført som på traditionelle tanghuse på Læsø. Ålegræsset bliver presset sammen til pøller, som holdes sammen med ruser lavet af fåruld. Pøllerne lægges ovenpå et standard tagpaptag, som overtager funktionen som den primære taginddækning. Tanglaget på taget får dermed en tykkelse på ca. 25cm og det må derfor antages at halveringstiden er betydeligt kortere end 50-100 år.

Diagram 18 er taget fra rapporten "Karakteristik af tangtag" (Kristensen & Holmer 2012, p.7) og viser estimerede halveringstider for et tangtag på en meters tykkelse i tør og våd tilstand, som undersøgt i analysen.

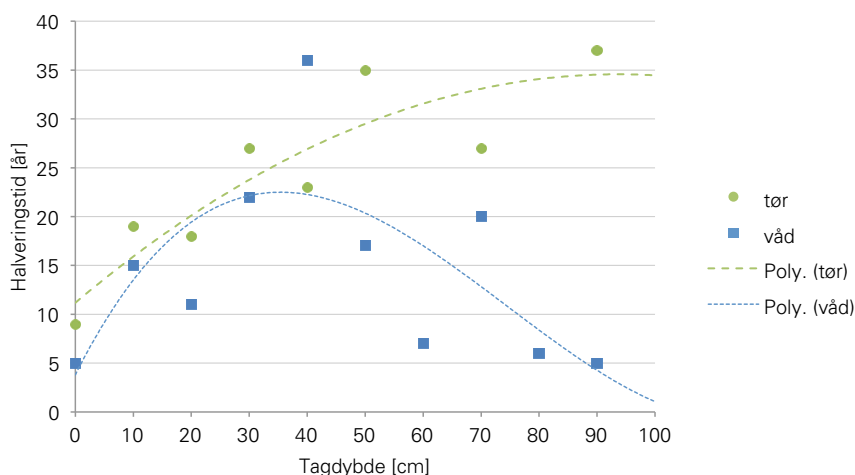


Diagram 18: Estimeret halveringstid for tagmateriale baseret på nedbrydningen bestemt for kerne A under fuld iltmætning. Det antages at temperaturen er konstant på 15OC. (Kilde på diagramdata og ledsagende tekst: Kristensen & Holmer 2012)

I våd tilstand har især de øverste lag (<20cm) og de nederste lag (> 80cm) korte halveringstider på mindre en 15 år. I tør tilstand er det kun de øverste lag (<20cm) som viser en halveringstid på under 20 år. Der kan derfor regnes med, at de øverste 20 cm af tangtage bliver nedbrudt på under 20 år.

På baggrund af analysen fra rapporten og personlig korrespondance med forfatterne ((Holmer & Kristensen 2013) antages en halveringstid på 10-25 år for et relativ tyndt tangtag (ca. 25cm), som udført på "det moderne tanghus". Antagelsen er dog behæftet med en forholdsvis stor usikkerhed, som også afspejles i det store spænd for tidsangivelsen. Årsagen til det er, at det ikke er muligt at skønne hvor meget næringsstoffer og fugt taget modtager fra atmosfæren, som vil påvirke nedbrydningsprocessen meget. Under forudsætning at "vand og næring stimulerer omsætningen i

<sup>28</sup> Organisk akse er næringsstoffer og sporstoffer som kvælstof (N), fosfor (P), svovl (S) og metaller (Holmer & Kristensen 2013)

det relativ tynde tag" (Holmer & Kristensen 2013) kan halveringstiden faktisk blive kortere end 10 år. På denne baggrund og medtaget alle usikkerheder antages derfor en middelværdi på halveringstiden på 15 år. Levetiden for livscyklusberegningen antages således også med 15 år, fordi pøllerne ikke skal erstattes, men nye pøller bliver lagt ovenpå tagkonstruktionen i vedligeholdelsesprocessen. Taget bliver dermed tykkere med tiden (ligesom traditionelle tangtag) og nedbrydningen vil ske langsommere med en øget tykkelse på ålegræslaget. For facadebeklædningen antages samme levetider.

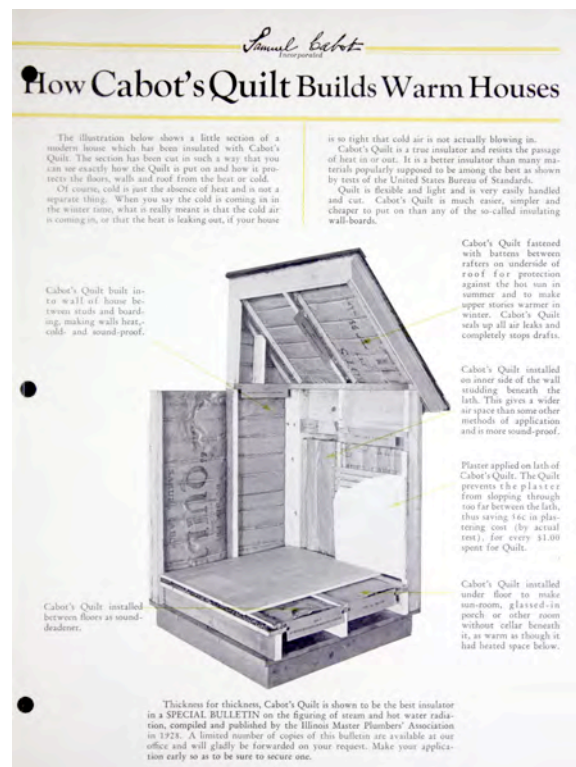
Den mikrobiologiske nedbrydningsproces kræver vand og kan dermed stoppes ved at tørre ålegræsset helt (Holmer & Kristensen 2013). Denne vilkår peger på, at der skal antages forskellige levetider, men også forskellige livscyklusforløb for ålegræs anvendt som tag- og facadebeklædning og som isoleringsmateriale.

## Ålegræs som isolering

Ålegræs blev allerede i begyndelsen af det 20. århundrede brugt som isoleringsmateriale. Især i Nordamerika blev ålegræs til et eftertragt råmateriale og firmaer som Samuel Cabot Inc. (USA) og Guildford's Limited (Canada) begyndte at bruge ålegræs til produktion af isoleringsprodukter (Wyllie-Echeverria & Cox 1999). "Cabot's Quilt" er et eksempel fra USA, hvor man udviklede et fuldværdigt byggeprodukt til isolering af boliger med ålegræs som råmateriale (se også Billede 2 og Billede 3). Allerede den gang viste man om ålegræssets gode isoleringsevner og den særlige kemiske sammensætning, med en høj andel af silicium, som medfører at materialet næsten ikke kan antændes<sup>29</sup> (Samuel Cabot Incorporated 1928).

Produktionen af ålegræsprodukter stoppede mellem 1940 og 1960, efter store dele af verdens ålegræsmarker døde efter en svampesygdom i 1930'erne (Wyllie-Echeverria & Cox 1999). Samme sygdom er grunden til at der i dag ikke kan høstes ålegræs ved Læsø, og at materialet skal fragtes fra Møn.

I dag eksisterer der stadigvæk bygninger i USA hvor man finder intakte vægisoleringer lavet af Cabot's Quilt, som - efter næsten 100år - hverken er rådne eller



Billede 2: Cabot's Quilt - udtæk fra reklamebrochure fra Samuel Cabot Incorporated, USA, udgivet 1928



Billede 3: Cabot's Quilt på rulle, ålegræsset blev syet ind mellem lag af vindpapir

<sup>29</sup> for at materialet kan afbrændes skal der konstant tilføres energi, materialet kan derfor ikke let antændes.

ødelagt på anden vis (Billede 4). Dette henviser til de potentielt lange levetider som kan forventes for ålegræsisoleringen, som skal anvendes i tanghus projektet. Alligevel antages der en levetid på kun 30 år ifølge levetidsdatabasen<sup>30</sup> for organiske isoleringsmaterialer, men som forhøjes til 45 år i beregningen på baggrunden af afhængigheder i konstruktionen (se også afsnit 4.2 - Levetider og levetidsmodellen).



Billede 4: Cabot's Quilt indbygget i en ydervæg i en gamle villa, USA 2007. (Kilde: flickr)

### Livscyklus for ålegræs – isolering og taginddækning

I projektet "Det moderne tanghus" anvendes ålegræs både som isolering og taginddækning. Som beskrevet før, skal der antages forskellige nedbrydningsprocesser og levetider for disse to anvendelsesscenerier.

Ålegræs eller almindelig bændeltang (lat.: *Zostera marina*) er en vandplante, som vokser i havet i en dybde på op til 5-10m ved gode lysforhold. Planten findes i kystområder overalt i verden og er vigtig for havets økosystem (Naturhistorisk Museum 2013). Ålegræs er i stand til at lave fotosyntese under vandet og kan på denne måde indlejre kulstof, som optages fra vandet. Fotosyntese kræver lys, vand og CO<sub>2</sub>, men da der kun findes en mindre mængde fri CO<sub>2</sub> i vandet, er bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) *zostera marina*s hovedkilde for kulstof (Holmer & Kristensen 2013).

Verdens havene er i stand til at optage store mængder menneskeskabt CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Der antages at ca. en fjerde del af CO<sub>2</sub> som optages af oceanerne bliver bundet i havplanter. Alligevel kan havplanter som *zostera marina* ikke betragtes som CO<sub>2</sub>-lager ("carbon sinks"), da omløbstiden for de fleste havplanter af *zostera*-familien kun er 1 år (Murakoa 2004). I tilfældet af ålegræsset bliver høstet

<sup>30</sup> Som beskrevet i "Leitfaden Nachhaltiges Bauen" (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2001)

og anvendt i et system med en længere omløbstid (f.eks. isolering > 45år) kan ålegræsset derimod betragtes som et midlertidig CO<sub>2</sub>-lager.

Zostera marinas bladene<sup>31</sup> består til ca. 57% af cellulose, ca. 38% polysakkarider og ca. 5% lignin (Davies et al. 2007), desuden indeholder bladene en del fosfor (P, ca. 4,4%), kvælstof (N, 0,7%) og diverse (tung)metaller (bla. Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, Zn) (Hans Brix & Jens Erik Lyngby 1984). Den kemiske sammensætning af ålegræsset er derudover meget afhængig af stedet (vandkvaliteten) og årstid, men tallene fra litteraturen vil med stor sandsynlighed ikke afvige meget fra en særlig analyse af ålegræs fra Møn (Holmer & Kristensen 2013). Den særlige kemiske sammensætning er også årsagen til at ålegræsset er svært at antænde, alligevel har materialet en energiindhold (net calorific value) på ca. 14,1MJ/kg tørvægt<sup>32</sup> (Birch 1975, p.210).

Som beskrevet i bygningsbeskrivelsen og tegningsmaterialet (Tegnestuen Vandkunsten 2012), anvendes kun ålegræs høstet på Møn i tanghuset. Nogle bygningskomponenter, som pøller til taginddækningen/facadebeklædning eller tagets indersidebeklædning fremstilles som leverance på Møn. Ålegræs som isolering bliver indbygget af hovedentreprenøren under prefabrikation af husets elementer. Kun en mindre mængde ålegræs bliver indbygget direkte på stedet.

## 1. Livscyklusfaser for ålegræs som taginddækning og facadebeklædning

### 1.1. Råmaterialeudvinding:

Ålegræsset høstes på mønske strande om sommeren. Høstningen er en manuel proces og der opsamles kun ålegræs, som bliver skyllet på stranden. Opsamlet ålegræs er tør (vandindhold skønnes til at være mellem 15-20%), men skal renses for "drivsel" og sand. Derefter bliver ålegræsset presset i baller og transporteret til en gård på Bogø til sortering<sup>33</sup> og viderebearbejdning. Der antages 20 km transport med traktor i gennemsnit. Under tørringsprocessen oxiderer ca. 30% af kulstoffet i ålegræssets blade til CO<sub>2</sub>. Efter ca. 30 dage bliver kulstofmængden stabil i de tørrede blade. (Kilde??)

### 1.2. Pøller til facade og tag:

Pøllerne bliver fremstillet af kun to materialer, fåruld og ålegræs. Ålegræsset bliver presset til pøller og holdt sammen af strikkede ruser lavet af kraftig fåruld. Alle arbejdsprocesser bliver udført manuelt og der anvendes ej maskiner. Pøller til facaden har en diameter på ca. 180 mm, pøller til taginddækningen har en diameter på ca. 300 mm.

Facaden og taget skal beklædes med kassetter udfyldt med ålegræspøller. Rammerne til kassetterne præfabrikeres og leveres til byggepladsen. Pøllerne hænges op på rundstokke (facader) eller granrafter (tag) i kassetterne. Pøllerne kan udskiftes/fornyas uden at rammen skal tages ned.

### 1.3. Brugsfase:

Ruserne til facade- og tagbeklædningen skønnes at have en levetid på 15 år, rammerne forventes at have en levetid på mindst 45 år. Ruserne skal derfor fornyes flere gange i løbet af betragtningsperioden på 50 år. På tage bliver nye ruser lagt ud, på facaden skal ruserne udskiftes helt.

<sup>31</sup> Kun blade anvendes som byggemateriale

<sup>32</sup> Værdien er i kilden angivet med 3369 cal/g for bladene af zostera marina. En energiindhold på 14,1MJ/kg svarer til energiindholdet på brunkul (ca. 15MJ/kg). Træ har en energiindhold på ca. 21MJ/kg. (Anon 2013)

<sup>33</sup> Forskellige kvaliteter og længder skal sorteres



Som beskrevet før, nedbrydes ålegræs, som er udsat for vejret, mikrobiologisk. I processen omdannes kulstoffet i ålegræsset til CO<sub>2</sub> og udledes til atmosfæren, tilbage bliver organisk aske. For beregningen antages derfor, at al indlejret kulstof i ålegræsset afgives løbende under brugsfasen.

#### 1.4. End-of-Life for facade- og tagbeklædning:

Ved End-of-Life er kun organisk materiale fra ålegræspøllerne tilbage. Da ålegræsset ikke er blevet behandlet med brandhæmmende midler eller andre kemikalier, kan resterne i princippet bortskaffes på ejendommens grund uden en særlig efterbehandling. Da ålegræs indeholder forholdsvis meget fosfor, som forbliver i den organiske aske, kan resterne også anvendes som f.eks. gødning på en nærliggende mark. Her erstatter den organiske aske andre gødningsprodukter (med potentiel større miljøpåvirkninger). Resterne kunne også forbrændes, men der kan ikke regnes med en særlig høj energiindhold siden mængden af kulstof i materialet er blevet reduceret kraftigt.

## 2. Livscyklusfaser for ålegræs som isolering

### 2.1. Råmaterialeudvinding: som beskrevet under 1.1

### 2.2. Isolering af bygningselementer:

Råhuset består af præfabrikerede elementer, som leveres med indbygget isolering til byggepladsen. Isoleringen bliver stoppet løst i elementerne med en densitet på 50kg/m<sup>3</sup>. Processen bliver udført i håndarbejde og der anvendes ej maskiner til behandling af ålegræs isoleringen.

### 2.3. Brugsfase:

Ålegræsset anvendt som isolering, antages at have en lang levetid. Som beskrevet før, nedbrydes materialet ikke under tørre forhold. Levetiden på ålegræs isolering kædes derfor sammen med levetid på elementerne (>45år), fordi der kan antages at isoleringen kun bliver udskiftet når den svigter. Levetiden for isoleringen følger dermed levetiden på tilstødende bygningsdele.

### 2.4. End-of-Life for isoleringen:

I brugsfasen blev materialet ikke nedbrudt og dermed antages at ålegræsset har den samme kemiske sammensætning ved End-of-Life som efter fremstillingen. Ålegræsset har dermed "lagret" kulstof i ca. 45 år, som normalt var ledt ud til atmosfæren (midlertidig kulstof lager).

Ved End-of-Life kan ålegræsset dermed enten forbrændes og varmeenergi udvindes. Varmeenergien erstatter energi fra andre (ikke-fornyelige) kilder, men al indlejret kulstof bliver udledt til atmosfæren som CO<sub>2</sub>. Med hensyn til den store fokus på en reduceret CO<sub>2</sub> fodaftryk for projektet, antages der et andet scenario for EOL, hvor ålegræsset bliver anvendt som gødning på en nærliggende mark. Der antages at 50% af det indlejrede kulstof bliver omsat til jordbundet kulstof under nedbrydningsprocessen, mens 50% bliver udledt som CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Ålegræsset kan således også erstatte gødning med en potentiel større miljøpåvirkning<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> Erstatningen af gødning er ikke medregnet i livscyklusberegningen, pga. den store usikkerhed med hensyn til EOL-scenariet om 50 år.

### 4.3. CO<sub>2</sub>-regnskab for træprodukter og ålegræs

Livscyklusberegningen viser negative resultater for projektets CO<sub>2</sub>-regnskab over 50 år i scenario 1 (-8,8t CO<sub>2</sub> eq.). Som beskrevet før, henviser det til, at bygningen primært er bygget af materialer som har indlejret stor mængde kulstof og som ikke har forårsaget store påvirkninger i kategorien GWP i deres produktionsprocesser.

En beregning for cradle-to-gate fasen (råmaterialeudvinding, materiale produktion og bygningens konstruktion) viser at materialerne i bygningen var med til at reducere mængden af drivhusgasser i atmosfæren med ca. 36 tons<sup>35</sup> og kan dermed fungere som et temporær CO<sub>2</sub>-lager<sup>36</sup>. Dette svarer til udslippet fra bygningens energiforsyning over ca. 13,5 år i scenario 3 (standard el).

Ifølge præmisserne for LCA'en antages, at alle materialer som er egnet til forbrænding skal bruges til at producere energi med ved deres EOL (forbrænding). Den således producerede energi må modregnes produktionen af energi fra andre kilder og erstatter dermed energi som primært stammer fra fossile energibærere.

I tilfældet af træprodukter fører denne tilgang hen til negative resultater for CO<sub>2</sub>-regnskabet ved brug af LCI-data fra ökobau.dat databasen. Ifølge den ledsagende tekst til processer for træprodukter, beskrives, at datasettet "inkluderer optagelse af CO<sub>2</sub> mens træet vokser og at der altid skal anvendes en særlig EOL-scenarior "Forbrænding i kommunal forbrændingsanlæg" for at koplettere det økologiske regnskab"<sup>37</sup>. Hvis man laver regnskabet for et kilo egetræ som beskrevet, er resultatet for GWP100 forsæt negativ: -0,609kg CO<sub>2</sub>eq<sup>38</sup>. Den negative værdi kan i princippet kun forklares ved at standard energiproduktionen (baseret på fossile brændstoffer) i beregningen bliver erstattet med energiproduktionen gennem forbrænding af træet, som - sæt i forhold til hinanden - har en lavere GWP. En lignende undersøgelse blev foretaget af Torsten Mielecke på TU Darmstadt (i Feifel 2009, pp.255-258), med konklusionen at resultatet er misvisende og at dataset til træprodukter bør redigeres i databasen. Dette er endnu ikke sket i den opdaterede ökobau.dat-database i versionen fra 2011<sup>39</sup>.

Om og under hvilke forudsætninger CO<sub>2</sub>-regnskaber faktisk kan være "neutrale" diskuteres blandt livscykluseksperterne, uden at der kan leveres et entydigt svar (Johnson 2009). Ifølge Johnson, bryder neutrale CO<sub>2</sub>-regnskaber med den "sunde fornuft", fordi der gennem anvendelsen og især afbrænding af træ, reduceres mængden af bundet CO<sub>2</sub> og dermed øges mængden af fri CO<sub>2</sub> i atmosfæren. I artiklen peges på, at antagelsen at CO<sub>2</sub>-regnskab for biomasse kan være neutral fører hen til "absurde konklusioner", og der anføres et eksempel fundet i Rabl (2007), som beskriver at det ikke ville gøre forskel i sådan et regnskab om en skov står (og vokser) eller om træet bliver høstet og brugt som biobrændsel.

---

<sup>35</sup> Beregningen viser en GWP af 35,96 tons

<sup>36</sup> i princippet kun "kulstof-lager", siden kun kulstoffet indlejres i træ, ilt frigives til atmosfæren under fotosyntesen.

<sup>37</sup> oversat fra tysk, som beskrevet i dataset "3.1.01 Schnittholz Eiche (12% Feuchte/10,7% H<sub>2</sub>O)" i ökobaudat-databasen, version 2011

<sup>38</sup> GWP100 for 1kg egetræ: -1,675kg CO<sub>2</sub>eq/kg træ, GWP100 for EOL-scenarior "Forbrænding i anlæg": 1,066kg CO<sub>2</sub>eq/kg træ. -> -1,675kg CO<sub>2</sub>eq + 1,066kg CO<sub>2</sub>eq = -0,609kg CO<sub>2</sub>eq

<sup>39</sup> i en personlig korrespondance (maj 2013) med forfatteren, henvises til at negative værdier er konform med den gældende standard. Forfatteren understreger at han stadigvæk synes at tilgangen i standarden er videnskabelig ukorrekte.

Dette er interessant, siden resultatet for denne livscyklusvurdering faktisk peger på et lignende problem: forbrænding af træmaterialer fra Tanghuset er fordelagtig for CO<sub>2</sub>-regnskabet, i modsætning til andre EOL-scenarier, hvor træet kan rådne over et længere tidsrum og dermed vil afgive den indlejrede kulstof i en relativ langsom oxidationsproces, men uden en udvinding af den indlejrede energi (calorific value).

Den hurtige frisættelse af CO<sub>2</sub> ved en forbrændingsproces peger desuden på et andet problem med hensyn til temporær lagring af CO<sub>2</sub>: tidspunktet på frigivelsen af CO<sub>2</sub> til atmosfæren og effekten på tidspunktet.

Om temporær lagring af CO<sub>2</sub> og tidsdimensionen er relevant for udviklingen af det globale CO<sub>2</sub> niveau blev diskuteret på en ekspert konference i 2010 (rapport: Brandão & Levasseur 2011). I rapporten henviser Kirschbaum til at temporær lagring (20 år) potentiel vil resultere i en øget miljøpåvirkning på et senere tidspunkt. Som grunde hertil anføres at en temporær reducere af CO<sub>2</sub> medfører umiddelbart en reducere af indlejring af kulstof i oceanerne, som fungerer som et af de største kulstoflager på kloden. Da CO<sub>2</sub>-mængden i atmosfæren vil stige i tidsrummet af den temporære lagring, betyder frigivelsen af det indlejrede CO<sub>2</sub> en øget CO<sub>2</sub>-niveau i atmosfæren om 20 år (se Diagram 19). Som konsekvens af det øgede CO<sub>2</sub>-niveau stiger temperaturen efterfølgende og topes efter ca. 20 år efter frigivelses tidspunktet (M. Kirschbaum i Brandão & Levasseur 2011, pp.38–50)

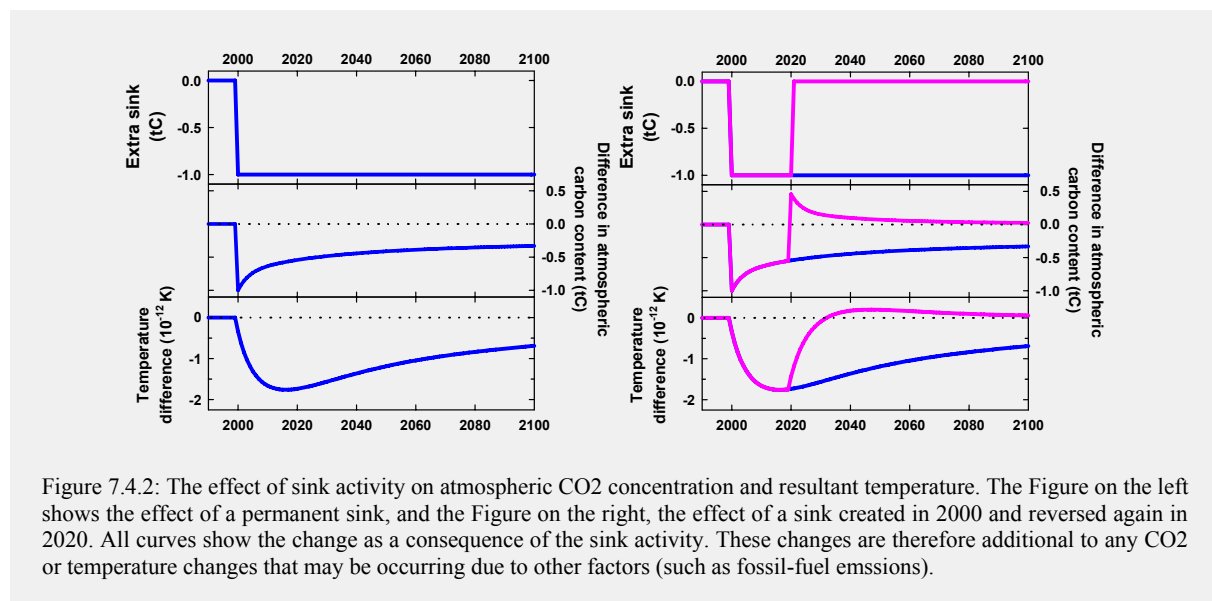


Figure 7.4.2: The effect of sink activity on atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and resultant temperature. The Figure on the left shows the effect of a permanent sink, and the Figure on the right, the effect of a sink created in 2000 and reversed again in 2020. All curves show the change as a consequence of the sink activity. These changes are therefore additional to any CO<sub>2</sub> or temperature changes that may be occurring due to other factors (such as fossil-fuel emissions).

Diagram 19: Uddrag fra artiklen "Temporary Carbon Sequestration Cannot Prevent Climate Change", Kirschbaum, M. (i Brandão & Levasseur 2011, p.46)

I et andet bidrag fra Marland, G et al. i den samme publikation (Brandão & Levasseur 2011, pp.51-53), beskrives at fordele ved en temporær lagring kan antages at være større en risici af en forværring. Bland andet vil en temporær lagring være med til at forsinke klimaforandring og kan dermed give tid til teknologisk udvikling, selvom lagringen ikke kan blive til en løsning på lang sigt, fordi kulstoffet i biomassen med sikkerhed bliver oxideret til CO<sub>2</sub> på et tidspunkt i fremtiden. Yderligere kan der

fremhæves at en levetids forlængelse for produkter, som temporær binder CO<sub>2</sub>, også resulterer i et forbedret CO<sub>2</sub>-regnskab<sup>40</sup>.

I bidraget fra Wolf et al. (i Brandão & Lévassieur 2011, pp.54–56) understreges at både biogen og menneskeskabt CO<sub>2</sub> resulterer i den samme miljøpåvirkning. Ligesom i de tidligere nævnte bidrag til rapporten henvises til vigtighed af tidspunktet for CO<sub>2</sub>-udslippet til atmosfæren.

En bygning som Tanghuset kan, som beskrevet før, anses som et temporær kulstof-lager<sup>41</sup>. Opgaven bliver derfor ikke kun at reducere miljøpåvirkninger i produktionsfasen ved at finde andre produkter/materialer med ringere miljøpåvirkninger, men at forlænge levetiden på især de materialer som har bundet CO<sub>2</sub><sup>42</sup>.

Ifølge beregningsmetoden som anvendes i sammenhæng med Ökobaudat-databasen bliver et øget forbrug af træmaterialer "belønnet" med reducerede CO<sub>2</sub>-regnskaber. Men faktisk gælder også for træmaterialer at reducere materiale mængden, fordi en voksende træ alligevel er bedre for CO<sub>2</sub> niveauet i atmosfæren end en bjælke lavet af samme træet.

Med hensyn til resultatet for GWP i denne livscyklusvurdering, skal der dog nævnes at de negative værdier skyldes en særlig beregningsmetode i datasettet for EOL af træmaterialer<sup>43</sup>. Der antages at energien som produceres ved forbrænding af træmaterialer kan modregnes en energiproduktion baseret på ikke-vedvarende energikilder. Værdierne for den erstattede energi (el og varme) er desuden baseret på tyske standard værdier (35% brunkul, 65% gas)<sup>44</sup> fra 2005 og tilgodeser dermed hellere ikke udviklingen af energiproduktionen i Tyskland i de sidste år<sup>45</sup>. Derimod har energiproduktion i Danmark en anderledes energikildefordeling, hvor, ifølge Energistyrelsen (Energistyrelsen (ENS) 2012, Bilag 5), andelen af vedvarende energi udgør ca. 27,1% i 2015. Kul udgør 12,9%, olie 39,5% og gas 18,3%. For fremtiden regnes der med en forskydning af energikilder hen til vedvarende energi, og der antages i rapporten at andelen af vedvarende energikilder stiger til ca. 37% af Danmarks samlede energiforbrug i 2035.

På dette baggrund kan antages, at effekten på erstatningen af fossile brændsler i affaldsforbrændingen med træ fra byggeprojekter, ikke har den samme positive, CO<sub>2</sub>-besparende effekt, som antaget i ökobaudat-databasen.

---

<sup>40</sup> I referencen henvises til "net present cost of emissions", på baggrund af konteksten ,oversættes "cost" med "CO<sub>2</sub>-regnskab".

<sup>41</sup> Fagudtrykket er "carbon-storage, oversat fra engelsk.

<sup>42</sup> F.eks. træ, træprodukter og ålegræs

<sup>43</sup> ökobaudat: 3.4.03 End of life - Holz naturbelassen in MVA), GUID: df060e72-53b0-4c5a-bd92-8f7967d7bb21

<sup>44</sup> som beskrevet i ledsagende tekster i ökobaudat-databasen version 2012. (i 9.2.06 Fernwärme MI, 3.4.03 End of life - Holz naturbelassen in MVA)

<sup>45</sup> alligevel er datasettet angivet som valid til og med 2013. En nyere version af datasettet er inkluderet i GABI 6.0 Byggevardatabasen (XII) (2011), men resultater for processen med den samme GUID er stadigvæk ens med værdierne i datasettet fra ökobaudat-databasen.

#### 4.4 Alternativer til End-of-Life for "Det moderne Tanghus"

En af konsekvenserne af problematikken omkring lagring af CO<sub>2</sub> er en øget interesse og værdi af forlængere levetiden på materialerne fra tanghuset. Træ er i princippet i stand til at blive brugt som byggemateriale over et meget længere tidsrum en betragtningsperioden af 50 år, som antaget for livscyklusvurderingen.

Som nævnte tidligere vil lagring af CO<sub>2</sub> få en stigende værdi over tiden (se også Brandão & Levasseur 2011, p.52), mens den negative effekt på udledningen af den pågældende mængde CO<sub>2</sub> til atmosfæren også vil blive større i fremtiden under forudsætningen at CO<sub>2</sub> niveauet i atmosfæren forsat er stigende (se også Brandão & Levasseur 2011, p.46).

Derfor kunne udviklingen af alternativer til de, i denne livscyklusvurdering antagne EOL-scenarier, have en meget stor effekt på de faktiske miljøpåvirkninger, som projektet kommer til at forårsage gennem tiden. Som vist i Diagram 11 (S.22), er EOL-situationen meget afgørende, især for påvirkningskategorien GWP. En forlænget brugstid betyder en længere kulstof-lagring og ville potentiel også have en positiv effekt for andre miljøpåvirkningskategorier.

Med hensyn til tanghustraditionen på Læsø, kunne netop en genanvendelses scenario blive til en moderne oversættelse af den gamle byggeskik, hvor på grund af den byggemateriale-fattige situation driv- og vraggoods blev til vigtige materialekilder for byggeriet på øen (Kibsgaard et al. 2012, pp. 11,16,17).

## 5. Bilag

### 5.1. Mængdeudtræk baseret på bygningsbeskrivelsen

				TOTAL (indbygget / i bygningen)			
				m2	m2	m3	m
element	no	element-type	material	areal	areal (alle overflader)	volumen	længde
<b>3.01 Terrændækelementer</b>							
bjælkelag, konstruktion	3.01.0	k	konstruktionstræ	14,04		3,439	
underside, plade	3.01.1	k	Amroc	88,23		0,706	
dæklister	3.01.2	k	lærk (sibirisk)	7,50		0,210	
remme (fundament)	3.01.3	k	lærk (sibirisk)	8,70		0,374	
isolering, terrændæk	3.01.4	k	ålegræs	147,04		36,025	
overside, plader	3.01.5	k	OSB, Egger (måske kun PE folie)	83,35		1,000	
skruer 5X60	3.01.6a	k	til 3.01.2 - skønnet			0,001	
skruer 10X100	3.01.6b	k	til 3.01.0 - skønnet			0,003204425	
skruer 8X80	3.01.6c	k	til 3.01.3 - skønnet			0,000804248	
kamsøm	3.01.6d	k	til 3.01.5			0,000901637	
skruer, søm, samlet	3.01.6	k	stål			0,006	
kanter, tagbrædder	3.01.7	k	rugpløjede tagbrædder	13,0464		0,248	
kanter, vindpap	3.01.8	k	vindpap	4,3488			
fundamenter		k	beton			1,178	
<b>3.02 Gulvopbygning i vådrum</b>							
gulvkonstruktion	3.02.0	b	svalehalepladder, Lewis, stål	7,83		0,004	
beton, toilet	3.02.1a	b	weber fibrebeton 0-4	2,25		0,149	
beton,bad	3.02.1b	b	weber fibrebeton 0-4	4,64		0,306	
beton, samlet	3.02.1	b	weber fibrebeton 0-4			0,454	
<b>3.03 Gulvarme i vådrum</b>							
kunststofplade, varmeslanger	3.03.0	b	Roth Clima komfortTM	6,89			
plastrør, varmeslanger	3.03.1	b	Roth X-Pert, 10,5x1,3mm				62,424
kantisolering	3.03.2	b	specialskum + PE + klæbestriber	0,612		0,00306	12,24
spartelmasse toilet	3.03.3a	b	fiberarmeret spartelmasse Roth	2,25		0,038	
spartelmasse bad	3.03.3b	b	fiberarmeret spartelmasse Roth	4,64		0,079	
spartelmasse, samlet	3.02.3	b	fiberarmeret spartelmasse Roth	6,89		0,117	
<b>3.04 Ydervægslementer</b>							
Elementer A-D	3.04.0	f	konstruktionstræ C18	17,63		4,319	
Indersidebeklædning	3.04.1	f	OSB, 12mm, Egger	87,92		1,055	
isolering	3.04.2	f	tang			17,70	
Ydersidebeklædning	3.04.3	f	rupløjede tagbrædder, gran	87,92		1,846	
skruer 10x100mm	3.04.4a	f	til 3.04.0			0,006	
kamsøm	3.04.4b	f	til 3.04.1			0,001	
skruer, søm, samlet	3.04.5	f	stål			0,008	
<b>3.05 Tagelementer</b>							
træskelet	3.05.0	t	konstruktionstræ C18	24,40		5,977	
Indersidebeklædning	3.05.1	t	OSB, 12mm, Egger	145,49		1,746	
isolering	3.05.2	t	tang			34,70	
Ydersidebeklædning	3.05.3	t	rupløjede tagbrædder, gran	159,28		3,345	
Tagpap	3.05.4a	t	Icopal 400 Base	76,14		0,076	
Tagpap, kanter	3.05.4b	t	Icopal 400 Top	0,72		0,001	
Tagpap, ovenlys	3.05.4c	t	Icopal 400 Top	13,79		0,014	
Tagpap, samlet	3.05.4	t	Icopal 400 Base	90,65			
skruer 10x100mm	3.04.4a	t	til 3.05.0			0,003	
kamsøm	3.04.4b	t	til 3.05.1			0,002	
skruer, søm, samlet	3.05.5	t	stål			0,005	
<b>3.05 Indvendige vægelementer</b>							
træskelet 75mm	3.05.0a	i	konstruktionstræ C18, 43mmx75mm	3,44		0,258	
træskelet 200mm	3.05.0b	i	konstruktionstræ C18, 43mmx200mm	0,79		0,159	
isolering	3.05.1	i	tang			3,33	
vådrumsgips	3.05.2	i	vådrumsgips, 2lag	49,61			
dampspærre, vådrum	3.05.3	i	PE-Folie, 0,2mm	24,81			
montagestel, toiletophæng	3.05.4		Geberit duofix				
skruer, gips	3.05.5a	i	til træskelet			0,0004	
træskelet	3.05.0	i	konstruktionstræ C18, 43mmx200mm			0,417	
<b>3.06 Hanebånd</b>							
hanebånd	3.06.0	k	konstruktionstræ C18, 43x145mm	2,89		0,419	
lister	3.06.1	k	fyr, 12x43mm	0,81		0,035	

element	no	element- type	material	m2	m2	m3	m
				areal	areal (alle overflader)	volumen	længde
<b>4.01 Levering og montering af vinduer og døre</b>							
vinduer, terrassedøre	4.01.0	f	kebony/pur/fyr, klar lak	se nedenunder			
entredør	4.01.1	f	Swedør W68, lak, sort	se nedenunder			
entredør, sparkeplade	4.01.1a	f	sparkeplade, stål	se nedenunder			
ovenlys	4.01.2	t	Velux ovenlys, glas	5,74			
indvendige døre, 9M	4.01.3a	i	skydedør	1,83		0,073	
indvendige døre, 7M	4.01.3b	i	skydedør	1,43		0,057	
indvendige døre, inkl karm	4.01.3	i					
karm til 4.01.3a		i	fyr	0,005		0,022	
karm til 4.01.3b		i	fyr	0,0045		0,021	
skinne, skydedør	4.01.4a	i	el-forzinket stål			0,004	
skydedør	4.01.4b	i	fyr massiv	7,24		0,289	
indvendige døre, inkl karm	4.01.3	i	fyr massiv			0,463	
glas		f	tre-lags glas	15,72			
træ, fyr (karme, indvendig)		f		0,29			
træ, kebony (rammer, udvendig)		f		0,14			
bundstykker hårdt træ		f		1,77		0,080	
beslag		f	stål				
sparkeplade, stål		f	stål	0,36		0,000	
lak, sort		f	Gori 11/99, 3 lag	3,658			
lak, klar		f	Gori 11/99, 3 lag				
aluminium	4.01.2	t	profiler, Velux			30,68	
fuger				201,2			
tape				117,448			
skruer		f	ø10mm			0,001	
<b>4.02 Gulvarme i opholdsrum</b>							
varmefordelingsplade	4.02.0	i	stålplade, 0,5mm	69,85			
strøer	4.02.1b	i	gran, tvær	1,73		0,078	
isolering	4.02.2	i	træuld	80,64		7,258	
pex-rør	4.02.3	i	varmeslanger		per 20cm		349,269
<b>4.03 Plankegulv i opholdsrum</b>							
trægulv i opholdsrum	4.03.0	i	fyr, klasse1, 25x183	79,93		1,998	
trægulv på hemse	4.03.1	i		32,16		0,804	
strøer	4.03.2a	i	gran, længs	6,80		0,306	
strøer	4.03.2b	i	gran, tvær	1,73		0,078	
gulvpap	4.03.3	i	gulvpap	74,66			
PE-Folie s.o. 5.0	4.03.4	i	0,2mm PE	74,66			
trægulve, samlet	4.03.0	i	fyr, klasse1, 25x183			2,802	
strøer, samlet	4.03.2	i	gran			0,384	
<b>4.04 Hemse</b>							
Bjælker	4.04.0	k	konstruktionstræ C18	4,21		0,611	
<b>4.05 Indvendig beklædning af vægge og lofter</b>							
vægbeklædning ydervægge	4.05.0	i	træ som gulv	95,33		2,383	
underkonstruktion							
vægbeklædning	4.05.1	i	til 4.05.0, lister, 25x45mm	4,57		0,206	
vægbeklædning indervægge	4.05.2	i	træ som gulv	68,46		1,712	
vægbeklædning gips	4.05.3	i	gips, 2 lag gyproc	4,81		0,115	
lysninger omkring vinduer	4.05.4	i	træ som gulv	12,02		0,300	
vægbeklædning, samlet	4.05.0	i	træ som gulv			4,395	
skruer gulv planker		i	montaflex			0,001743335	
skruer vægge		i	montaflex			0,001251995	
skruer lysninger		i	montaflex			0,000219766	
skruer, samlet	4.05.5	i	montaflex			0,003215095	
<b>4.06 Udvendig træbeklædning af facade</b>							
afstandslist	4.06.0	f	sibirisk lærk			0,06	
rustikbrædder	4.06.1	f	sibirisk lærk			0,46	
<b>4.07 Vandtætning af vådrum</b>							
overfladebehandling	4.07.0	b	tætningsmasse, f.eks. Alfix	31,18		0,06	
gulvklinter	4.07.1	b	Villeroy+Boch, 100x100mm	4,56		0,03	
vægfliser	4.07.2	b	Rako, 150x150mm	26,62		0,16	
fiiseklæber	4.07.3	b		31,18		0,03	
fugemasse	4.07.4	b		0,89		0,01	

element	no	element- type	material	m2	m2	m3	m
				areal	areal (alle overflader)	volumen	længde
<b>4.08 udvendigt blikkenslagerarbejde</b>							
Fodblik	4.08.0	t	zink nr.14	10,38		0,01	
drypkanter	4.08.1	t	zink nr.14	8,477		0,008	
Rendejern	4.08.2	t	galvaniseret stål	0,60		0,003	
Tagrende	4.08.3	t	aluzink	10,38		0,01	
Rørholdere	4.08.4	t	galvaniseret stål	0,05		0,000	
Nedløbsrør	4.08.5	t	Ø90mm, materiale?	0,002		0,002	2,8
Fodblik, Drypkanter, samlet	4.08.6	t	zink nr.14	18,857			
Rendejern, Rørholdere, samlet	4.08.7	t	galvaniseret stål			0,003	
<b>4.09 Terrasser og udvendige skærmvægge</b>							
Bjælker, underkonstruktion	4.08.0	u	sibirisk lærk			3,17	
Terrassebrædder	4.08.1	u	sibirisk lærk, kvalitet kvarta	123,90		0,50	
Beklædning, skærmvæg	4.08.2	u	sibirisk lærk, kvalitet kvarta	20,14		0,08	
Regler, skærmvæg	4.08.3	u	sibirisk lærk			0,04	
fundamenter		u	beton			1,178	
skruer	til 4.08.1	u	4,2x55 / A4 stål			0,001287769	
skruer	til 4.08.0	u	8x80			0,000402124	
skruer, samlet	4.08.4	u	stål			0,001689893	
<b>4.10 Fast facadeafskærmning</b>							
rammekonstruktion	4.10.0	f	sibirisk lærk			0,61	
søjler	4.10.1	f	sibirisk lærk			0,12	
udhæng gavle, taglægter	4.10.2	f	fyr	6,28		0,01	
udhæng gavle, tagbrædder	4.10.3	f	rupløjede tagbrædder	8,85		0,02	
tagdæk	4.10.4	f	rustik brædder	36,14		0,09	
tagpap, skærme	4.10.5	f	lcopal400	36,14			
tagpap, gavle	4.10.5	f	lcopal400	8,85			
tagpap, samlet	4.10.5	f	lcopal400	44,99			
<b>4.11 Trappe til hems</b>							
vange	4.11.0	i	konstruktionstræ			0,11	
trin	4.11.1	i	konstruktionstræ			0,11	
baluster	4.11.2	i	konstruktionstræ			0,02	
halvstav	4.11.3	i	konstruktionstræ			0,00	
striktøj	4.11.4	i	hemp uld, 1,5mm	3,71			
trappe, træ, samlet	4.11.0	i	konstruktionstræ			0,24	
<b>4.12 Montering af køkken</b>							
bordplade	4.11.0	i	sibirisk lærk	1,355		0,041	
bordplade, trappe	4.11.1	i	sibirisk lærk	1,274		0,038	
bordpladder, samlet	4.11.0	i	sibirisk lærk			0,079	
<b>4.13 Overfladebehandling</b>							
lud, gulv	4.13.0	i		69,85			
lud, vægge		i		174,29			
sæbe, gulv	4.13.1	i		69,85			
sæbe, vægge		i		174,29			
lud, samlet	4.13.0	i		244,15			
sæbe, samlet	4.13.1	i		244,15			
maling	4.13.2	f	lak, Gori99, kulsort	7,55			
grundning	4.13.3	f	grundning, Gori11	2,52			
maling, grundning	4.13.2	f	lak, GORI 11/99	10,06			
<b>5.0 Tætning</b>							
Dampspærre, facade	5.01.0	f	Dafa EcoFoil	105,51			
Dampspærre, tag	5.01.1	t	Dafa EcoFoil	178,00			
Dampspærre, gulv	5.01.2	k	Dafa EcoFoil	88,23			
Tape, facade	5.01.3	f	Dafa Tape				52,75
Tape, tag	5.01.4	t	Dafa Tape				89,00
Tape, gulv	5.01.5	k	Dafa Tape				44,12
<b>6.1 Facadebeklædning med ålegræs</b>							
rammer, facade, stue	6.1.0	f	sibirisk lærk			0,7912	
rammer, gavle	6.1.0a	f	sibirisk lærk			0,2967	
forskallingsbrædder, stue	6.1.1	f	sibirisk lærk	38,4		0,845	
forskallingsbrædder, gavle	6.1.1a	f	sibirisk lærk	16,56		0,364	
rundstok	6.1.2	f	Ø21mm			0,020	
beslag	6.1.3	f	BMF vinkel, 45x60			0,003	
ålegræs	6.1.4	f	pøller Ø180mm			6,09	
ålegræs	6.1.4a	f	pøller Ø180mm			2,81	
ruser, uldgarn	6.1.5	f	får, uvasket, dobbeltspunnet	113,67		0,17	2799,55
rammer, samlet	6.1.0	f	sibirisk lærk			1,09	
forskallingsbrædder, samlet	6.1.1	f	sibirisk lærk			1,21	
ålegræs, samlet	6.1.4	f	pøller Ø180mm			8,90	



element	no	element- type	material	m2	m2	m3	m
				areal	areal (alle overflader)	volumen	længde
<b>6.2 Tagklædning med ålegræs</b>							
rammer, standard	6.1.0	t	sibirisk lærk			0,86	
rammer, vinduer	6.1.0a	t	sibirisk lærk			0,1677	
forskallingsbrædder, standard	6.1.1	t	sibirisk lærk	81,6		1,795	
forskallingsbrædder, vinduer	6.1.1a	t	sibirisk lærk	14,4		0,317	
granraffe	6.1.2	t	ø21mm			0,022	
ålegræs	6.1.4a	t	pøller Ø300mm			21,38	
ålegræs, ends	6.1.4b	t	pøller Ø300mm			3,56	
ruser, uldgarn	6.1.5a	t	får, uvasket, dobbeltspunnet	342,01		0,51	2423,95
ruser, uldgarn	6.1.5b	t	får, uvasket, dobbeltspunnet	89,06		0,13	504,99
rammer, samlet	6.1.0	t	sibirisk lærk			1,03	
forskallingsbrædder, samlet	6.1.1	t	sibirisk lærk			2,11	
ålegræs, samlet	6.1.4	t	pøller Ø300mm			24,94	
ruser, samlet	6.1.5	t	får, uvasket, dobbeltspunnet	431,07			2928,94
<b>6.3 Loftsbeklædning med ålegræs</b>							
trærammer	6.3.0	i	fyr			1,02	
masonitplade	6.3.1	i	hdf	131,44		0,39	
stout	6.3.2	i	stof, bomuld	162,00			
hørstof	6.3.3	i	500g/m2	162,00			
pladevat	6.3.4	i	bomuld?	24,25			
tang	6.3.5	i				21,03	

## 5.2. LCI-data

I de følgende tabeller vises detaljerede resultater fra de enkelte delmodeller per materiale eller komponent, som brugt i beregning. Sammen med hver tabel vises to diagrammer for primærenergibehovet og GWP (CO<sub>2</sub>-footprint), som visualiserer bidrag fra de enkelte materialer til delmodellernes resultater.

(Skalaen i diagrammerne er ikke ens og længder på søjler kan derfor ikke sammenlignes direkte.)

### 5.2.1 Facade

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	kg	kg CO <sub>2</sub> eq	kg R11 eq	kg Ethen eq	kg SO <sub>2</sub> eq	kg Phosphat eq	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
1 3.04.0 Elementer A-D	2370,93	-1304,54	-2,87E-06	-2,75E-02	-3,95E-01	5,06E-02	-14847,95	42365,33	27514,96	-1536,09		-1,04E-03	-3,49E+00	-5,89E-03
2 3.04.1 Indersidebeklædning	648,87	-567,43	-8,01E-06	1,01E-01	1,17E+00	1,90E-01	-8076,34	13255,24	5178,89	1,15	3,00E-04	-3,68E-05	-5,03E-01	-3,63E-03
3 3.04.2 Isolering/tang	1769,72	-618,46	1,87E-06	3,74E-03	1,01E-01	-6,43E+00	244,70	28846,08	29090,78	0,06				1,02E-04
4 3.04.3 Ydersidebeklædning	2440,91	-1169,50	3,90E-06	6,47E-02	1,22E+00	2,17E-01	-12340,67	43929,38	31586,60	-1155,41		-7,84E-04	-3,16E+00	-4,99E-03
5 3.04.5 skruer, søm, samlet	129,00	284,41	1,06E-06	-1,91E-01	9,40E-01	5,51E-02	3495,10	444,37	3920,88	595,81		2,45E-04	3,09E+00	1,72E-03
6 glas	943,13	1634,13	1,11E-06	5,90E-01	8,37E+00	1,29E+00	20446,95	614,20	21065,03	576,20	-9,43E-01	3,66E-04	3,50E+00	9,40E-03
7 træ, fyr (karme, indvendig)	5,48	-3,01	-6,64E-09	-6,35E-05	-9,13E-04	1,17E-04	-34,32	97,91	63,59	-3,55		-2,40E-06	-8,07E-03	-1,36E-05
8 træ, kebony (træmmer, udvendig)	4,95	-3,02	-6,37E-09	1,27E-03	-1,77E-03	-5,77E-05	-34,46	84,54	50,07	-3,42		-2,31E-06	-7,76E-03	-1,38E-05
9 bundstykker hårdt træ	57,25	-34,86	-7,36E-08	1,46E-02	-2,04E-02	-6,66E-04	-398,27	977,04	578,71	-39,49		-2,67E-05	-8,97E-02	-1,59E-04
10 beslag	13,11	9,40	5,03E-06	-1,29E-02	-9,05E-02	-1,06E-03	191,81	-18,36	173,25	-293,00	3,50E-04	4,77E-04	3,83E-02	4,91E-05
11 sparkeplade, stål	5,53	12,20	4,56E-08	-8,20E-03	4,03E-02	2,36E-03	149,90	19,06	168,16	25,55		1,05E-05	1,32E-01	7,36E-05
12 4.06.0 afstandslister	74,12	-35,52	1,18E-07	1,96E-03	3,72E-02	6,60E-03	-374,76	1334,03	959,21	-35,09		-2,38E-05	-9,59E-02	-1,51E-04
13 4.06.1 rustikbrædder	610,29	-292,41	9,74E-07	1,62E-02	3,06E-01	5,43E-02	-3085,50	10983,52	7897,50	-288,88		-1,96E-04	-7,89E-01	-1,25E-03
14 4.10.0 ramme konstruktion	811,54	-388,83	1,30E-06	2,15E-02	4,07E-01	7,22E-02	-4102,96	14605,39	10501,73	-384,14		-2,61E-04	-1,05E+00	-1,66E-03
15 4.10.1 søjler	157,05	-75,25	2,51E-07	4,16E-03	7,87E-02	1,40E-02	-794,03	2826,52	2032,36	-74,34		-5,04E-05	-2,03E-01	-3,21E-04
16 4.10.2 udhæng gavle, taglægter	14,81	-8,15	-1,79E-08	-1,72E-04	-2,47E-03	3,16E-04	-92,73	264,59	171,84	-9,59		-6,49E-06	-2,18E-02	-3,68E-05
17 4.10.3 udhæng gavle, tagbrædder	24,70	-13,59	-2,99E-08	-2,86E-04	-4,12E-03	5,27E-04	-154,66	441,28	286,60	-16,00		-1,08E-05	-3,64E-02	-6,14E-05
18 4.10.4 tagdæk	94,24	-51,85	-1,14E-07	-1,09E-03	-1,57E-02	2,01E-03	-590,15	1683,87	1093,62	-61,05		-4,13E-05	-1,39E-01	-2,34E-04
19 4.10.5 tagpap, samlet	557,85	715,59	-3,33E-06	3,07E-01	1,59E+00	1,70E-01	19443,52	273,57	19719,96	335,41	-4,46E-01	3,40E-02	5,08E-01	9,18E-03
20 4.13.2 maling, grundning	7,55	16,32	3,03E-08	1,63E-01	7,76E-02	5,11E-03	345,09	15,65	361,14	15,45	-7,55E-03	9,75E-06	6,59E-02	1,54E-04
21 5.01.0 Dampspærre, facade	49,06	139,78	3,22E-08	5,01E-02	3,10E-01	2,45E-02	2521,21	12,39	2534,13	-27,69		-2,12E-05	3,00E-02	1,82E-03
22 5.01.3 Tape, facade	0,63	1,81	-1,15E-10	4,31E-04	1,79E-03	1,25E-04	38,62	-0,07	38,55	-0,05		-5,45E-08	1,85E-05	1,86E-05
23 6.1.2 rundstok	21,91	-12,05	-2,65E-08	-2,54E-04	-3,65E-03	4,68E-04	-137,18	391,42	254,22	-14,19		-9,60E-06	-3,23E-02	-5,44E-05
24 6.1.3 beslag	47,28	109,85	5,32E-07	3,90E-02	3,65E-01	2,91E-02	1391,53	81,73	1458,16	68,86	4,06E-04	-1,14E-04	7,31E-01	6,16E-04
25 6.1.0 rammer, samlet	1438,20	-689,08	2,30E-06	3,81E-02	7,21E-01	1,28E-01	-7271,23	25883,58	18611,11	-680,78		-4,62E-04	-1,86E+00	-2,94E-03
26 6.1.1 forskallingsbrædder, samlet	1598,46	-765,86	2,55E-06	4,23E-02	8,01E-01	1,42E-01	-8081,43	28767,67	20684,86	-756,63		-5,13E-04	-2,07E+00	-3,27E-03
27 6.1.4 ålegæs, samlet	1779,25	101,19	1,82E-06	3,76E-03	8,42E-02	-2,72E+01	246,02	29001,37	29247,39	0,06				1,02E-04
28 6.1.5 ruser, uldgarn	5,45	187,95	2,31E-06	5,05E-02	3,00E+00	9,74E-01	893,09	763,76	1656,85	0,04	-4,36E-03	1,47E-08	4,44E-03	4,65E-03

DGNB - criteria

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg]	[kg CO <sub>2</sub> eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO <sub>2</sub> eq]	[kg Phosphat eq]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
<b>total</b>	<b>15.681,27</b>	<b>-2.820,77</b>	<b>0,00</b>	<b>1,27</b>	<b>19,09</b>	<b>-30,23</b>	<b>-11.009,11</b>	<b>247.945,06</b>	<b>236.900,16</b>	<b>-3.760,82</b>	<b>-1,40</b>	<b>0,03</b>	<b>-5,45</b>	<b>0,00</b>

Tabel 8: LCI-resultater for delmodellen facaden.

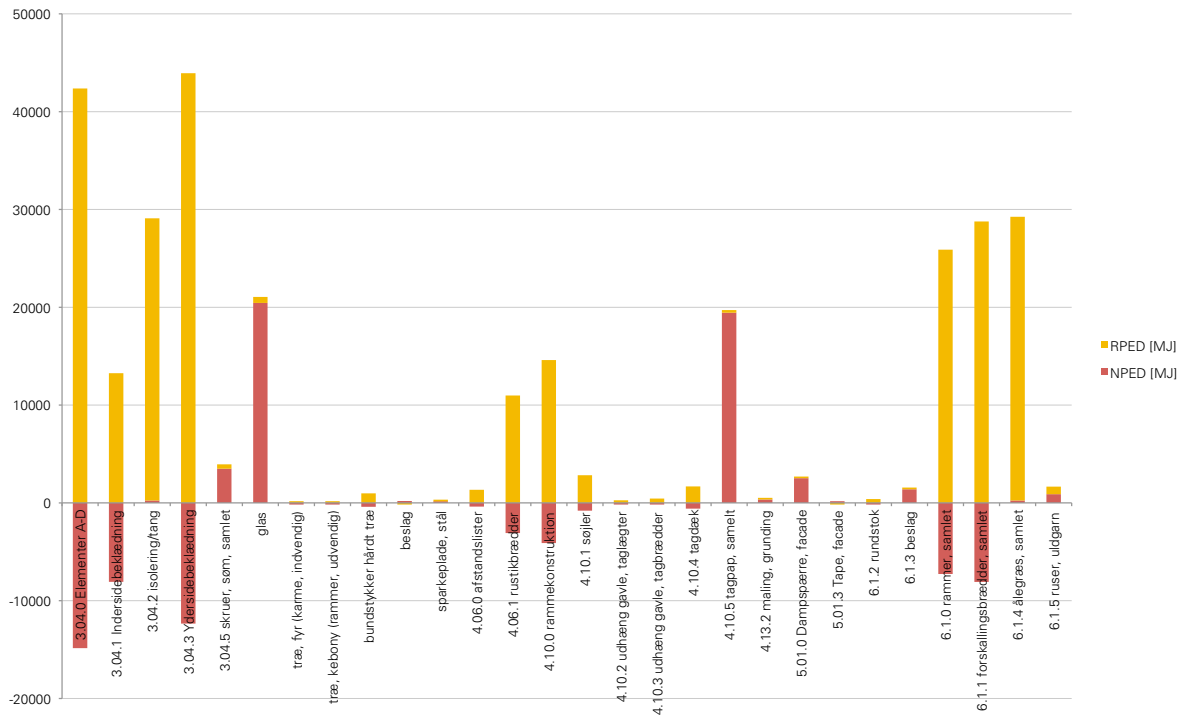


Diagram 20: Primærenergibehov for facadens materialer/komponenter over 50 år.  
(NPED svarer til materialernes indlejrede energi ("embodied energy"))

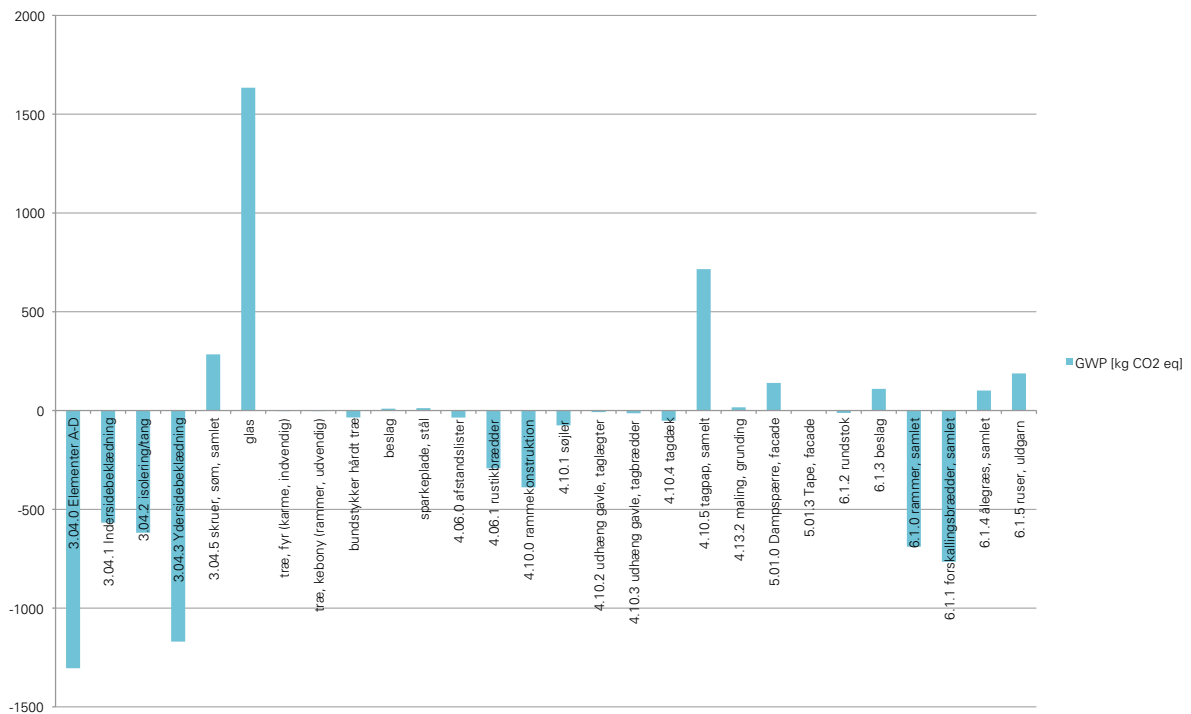


Diagram 21: GWP100 (CO2-footprint) for facadens materialer/komponenter over 50 år

## 5.2.2 Tag

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
		CO2 eq	R11 eq	Ethen eq	SO2 eq	Phosphat eq	MJ	MJ	MJ					
1 3.05.0 træskelet	3.281,36	-1.805,48	-3,97E-06	-3,80E-02	-5,47E-01	7,01E-02	-20549,49	58633,42	38080,58	-2125,94		-1,44E-03	-4,83E+00	-8,15E-03
2 3.05.1 Indersidebeklædning	1.073,70	-938,95	-1,33E-05	1,67E-01	1,93E+00	3,14E-01	-13364,15	21933,82	8569,66	1,91	4,97E-04	-6,09E-05	-8,32E-01	-6,00E-03
3 3.05.2 isolering/tang	3.469,78	-1.212,57	3,67E-06	7,33E-03	1,97E-01	-1,26E+01	479,77	56556,69	57036,45	0,12				1,99E-04
4 3.05.3 Ydersidebeklædning	3.224,38	-1.751,53	-3,90E-06	-5,31E-02	-3,55E-01	1,02E-01	-19925,63	57601,69	37672,80	-2085,01		-1,41E-03	-4,74E+00	-7,89E-03
5 3.05.4 Tagpap, samlet	1.124,04	1.570,32	-9,27E-06	6,19E-01	3,44E+00	3,78E-01	37819,16	539,01	38363,97	676,00	-1,12E+00	8,54E-02	9,35E-01	1,79E-02
6 3.05.5 skruer, søm, samlet	69,25	255,12	9,63E-07	6,92E-02	1,55E+00	8,93E-02	3235,35	237,75	3463,12	321,53	2,63E-04	-1,42E-04	1,81E+00	1,59E-03
7 4.01.2 ovenlys	344,52	596,94	4,05E-07	2,16E-01	3,06E+00	4,72E-01	7469,18	224,36	7694,96	210,48	-3,45E-01	1,34E-04	1,28E+00	3,43E-03
8 4.08.6 Fodblik, Drypkanter, samlet	188,49	615,79	7,75E-05	3,88E-01	8,03E+00	1,13E+00	8980,59	1463,25	10444,04	77,49	-1,87E-01	8,76E-03	9,35E+00	2,93E-03
9 4.08.7 Rørholdere, samlet	49,36	99,74	8,94E-07	3,24E-02	3,30E-01	2,59E-02	1257,35	79,66	1321,25	71,82	4,96E-04	-3,40E-04	6,83E-01	5,43E-04
11 4.08.3 Tagrende	53,98	271,02	1,03E-05	-1,38E-02	1,13E+00	6,00E-02	3767,76	1322,87	5092,39	3280,27		3,79E-04	3,83E-01	1,36E-03
12 4.08.5 Nedløbsrør	12,35	62,01	2,36E-06	-3,15E-03	2,59E-01	1,37E-02	862,10	302,68	1165,19	750,56		8,67E-05	8,77E-02	3,12E-04
13 5.01.1 Dampspærre, tag	331,07	943,29	2,17E-07	3,38E-01	2,09E+00	1,65E-01	17013,64	83,59	17100,85	-186,85		-1,43E-04	2,03E-01	1,23E-02
14 5.01.4 Tape, tag	2,14	6,11	-3,88E-10	1,45E-03	6,05E-03	4,23E-04	130,32	-0,25	130,09	-0,18		-1,84E-07	6,25E-05	6,29E-05
15 6.1.2 granraffe	29,30	-14,04	4,68E-08	7,76E-04	1,47E-02	2,61E-03	-148,16	527,40	379,22	-13,87		-9,41E-06	-3,79E-02	-5,99E-05
16 6.1.0 rammer, samlet	1.358,62	-650,95	2,17E-06	3,60E-02	6,81E-01	1,21E-01	-6868,87	24451,28	17581,24	-643,11		-4,36E-04	-1,76E+00	-2,78E-03
17 6.1.1 forskallingsbrædder, samlet	2.035,97	-1.105,97	-2,46E-06	-3,36E-02	-2,24E-01	6,41E-02	-12581,62	36371,36	23787,68	-1316,53		-8,91E-04	-3,00E+00	-4,98E-03
18 6.1.4 ålegras, samlet	4.987,59	283,66	5,11E-06	1,05E-02	2,36E-01	-7,63E+01	689,63	81296,76	81986,39	0,18				2,86E-04
19 6.1.5 ruser, samlet	5,71	196,60	2,42E-06	5,28E-02	3,14E+00	1,02E+00	934,03	799,04	1733,07	0,03	-2,85E-03	9,64E-09	2,90E-03	4,87E-03

DGNB - criteria

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg]	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg Phosphat eq]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
totalt	21.729,36	-1.295,54	8,64E-05	2,11	31,63	-84,48	26.106,34	345.462,56	371.552,79	3.054,40	-1,66	0,09	1,80	0,02

Table 9: LCI-resultater for delmodellen tag

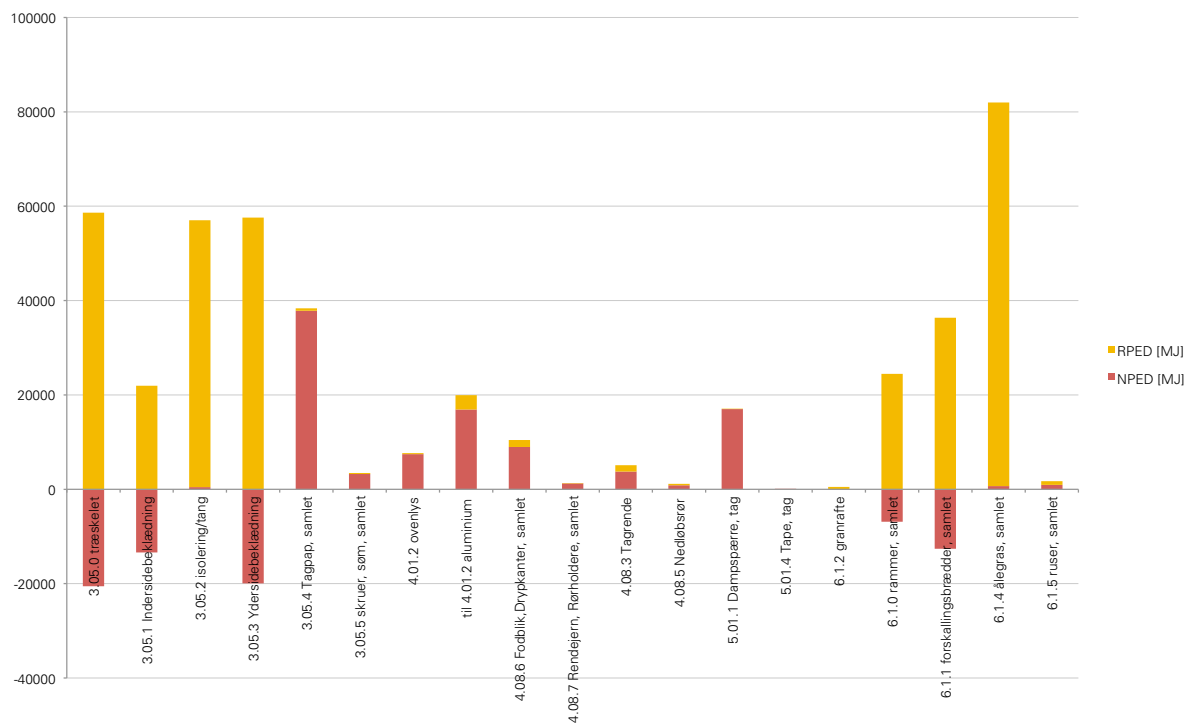


Diagram 22: Primærenergi for tagets materialer/komponenter over 50 år.

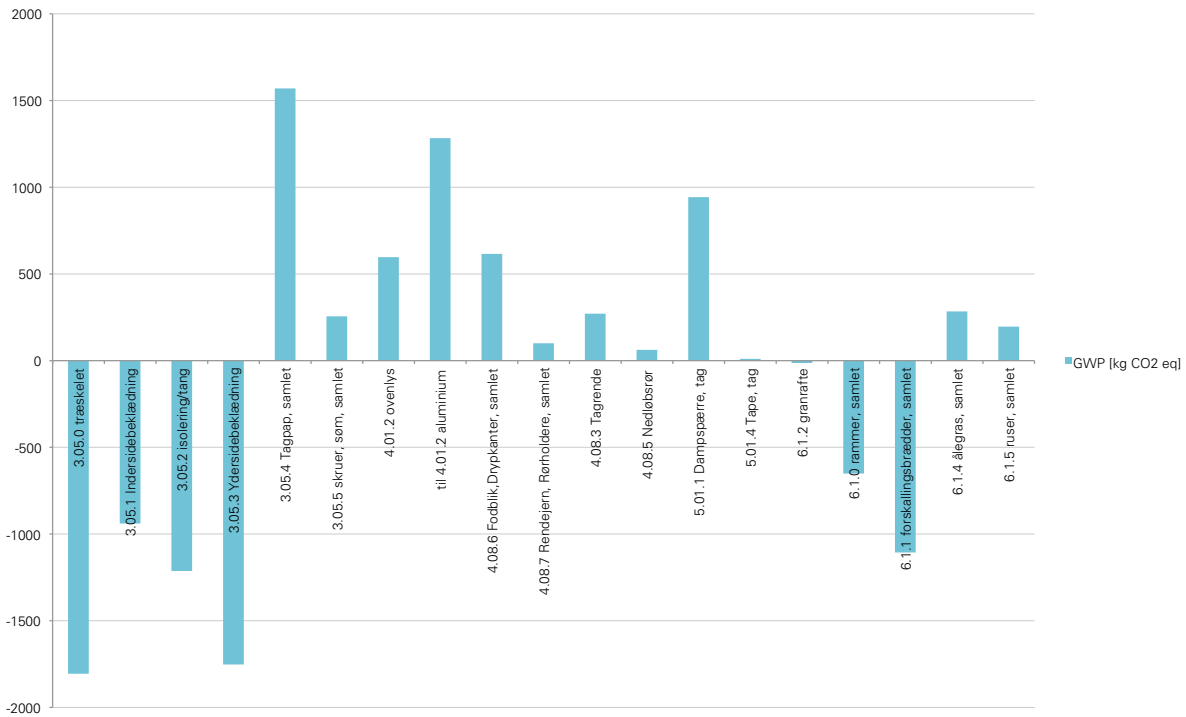


Diagram 23: GWP100 (CO2-footprint) for tagets materialer/komponenter over 50 år

### 5.2.3. Konstruktion

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	kg	CO2 eq	R11 eq	Ethen eq	SO2 eq	Phosphat eq	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
3.01.0 bjælkelæg, konstruktion	1.887,80	-1.038,71	-2,28E-06	-2,19E-02	-0,31	0,04	-11822,38	33732,53	21908,23	-1223,08		-8,27E-04	-2,78	-4,69E-03
2 3.01.1 underside, plade	776,42	466,96	2,44E-05	1,26E-01	1,07	0,16	5158,07	1590,07	6748,97	12,59	-0,76	7,94E-04	1,45	2,13E-03
3 3.01.2 dæklister	277,79	-133,10	4,43E-07	7,36E-03	0,14	0,02	-1404,45	4999,46	3594,77	-131,49		-8,92E-05	-0,36	-5,68E-04
3.01.3 remme (fundament)	247,28	-118,48	3,95E-07	6,55E-03	0,12	0,02	-1250,19	4450,34	3199,93	-117,05		-7,94E-05	-0,32	-5,05E-04
3.01.4 isolering, terrændæk	1.801,23	-629,47	1,91E-06	3,80E-03	0,10	-6,55	249,06	29359,67	29608,73	0,06				1,03E-04
6 3.01.5 overside, plader	615,13	-537,92	-7,60E-06	9,59E-02	1,11	0,18	-7656,35	12565,93	4909,58	1,09	0,00	-3,49E-05	-0,48	-3,44E-03
3.01.6 skruer, søm, samlet	42,38	93,43	3,49E-07	-6,28E-02	0,31	0,02	1148,12	145,97	1287,99	195,72		8,05E-05	1,01	5,64E-04
3.01.7 kanter, tagbrædder	272,17	-149,76	-3,30E-07	-3,15E-03	-0,05	0,01	-1704,49	4863,38	3158,62	-176,34		-1,19E-04	-0,40	-6,76E-04
9 3.01.8 kanter, vindpap	2,00	-0,13	2,02E-07	7,21E-04	0,01	0,00	16,74	61,24	77,98	0,02	0,00	1,54E-04	0,00	4,45E-06
10 3.06.0 hanebånd	230,03	-126,57	-2,79E-07	-2,67E-03	-0,04	0,00	-1440,54	4110,27	2669,49	-149,03		-1,01E-04	-0,34	-5,72E-04
11 3.06.1 lister	38,07	-20,95	-4,61E-08	-4,41E-04	-0,01	0,00	-238,43	680,32	441,85	-24,67		-1,67E-05	-0,06	-9,46E-05
12 4.04.0 Bjælker	335,30	-184,49	-4,06E-07	-3,89E-03	-0,06	0,01	-2099,79	5991,29	3891,16	-217,23		-1,47E-04	-0,49	-8,33E-04
13 5.01.2 Dampspærre, gulv	16,41	46,76	1,08E-08	1,68E-02	0,10	0,01	843,34	4,14	847,66	-9,26		-7,10E-06	0,01	6,08E-04
14 5.01.5 Tape, gulv	0,53	1,51	-9,62E-11	3,60E-04	0,00	0,00	32,30	-0,06	32,24	-0,04		-4,55E-08	0,00	1,56E-05
15 beton fundament	2.786,20	318,06	6,98E-06	7,95E-02	0,72	0,10	1881,60	64,77	2406,67	27,38	-2,79	1,85E-04	3,73	7,91E-04

DGNB - criteria

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg]	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg Phosphat eq]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
total	9.328,74	-2.012,86	2,38E-05	0,24	3,23	-5,97	-18.287,40	102.619,32	84.783,86	-1.811,33	-3,55	-2,08E-04	0,99	-0,01

Tabel 10: LCI-resultater for delmodellen konstruktion

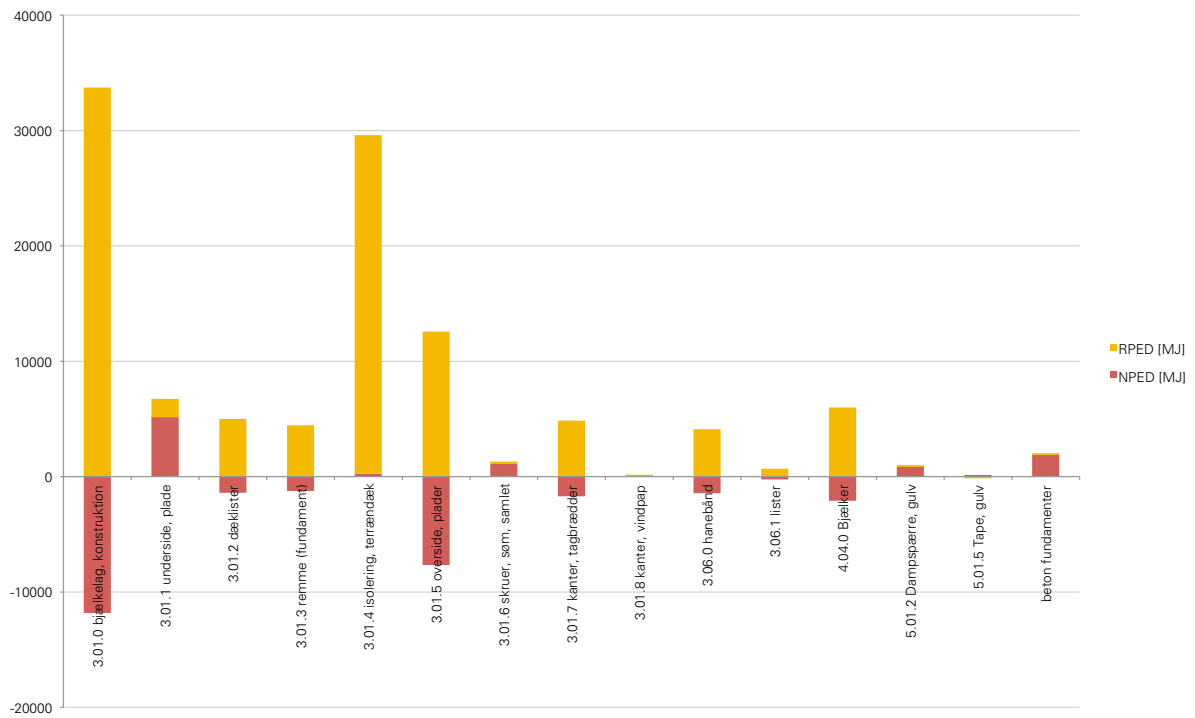


Diagram 24: Primærenergibehov for tagets materialer/komponenter over 50 år.

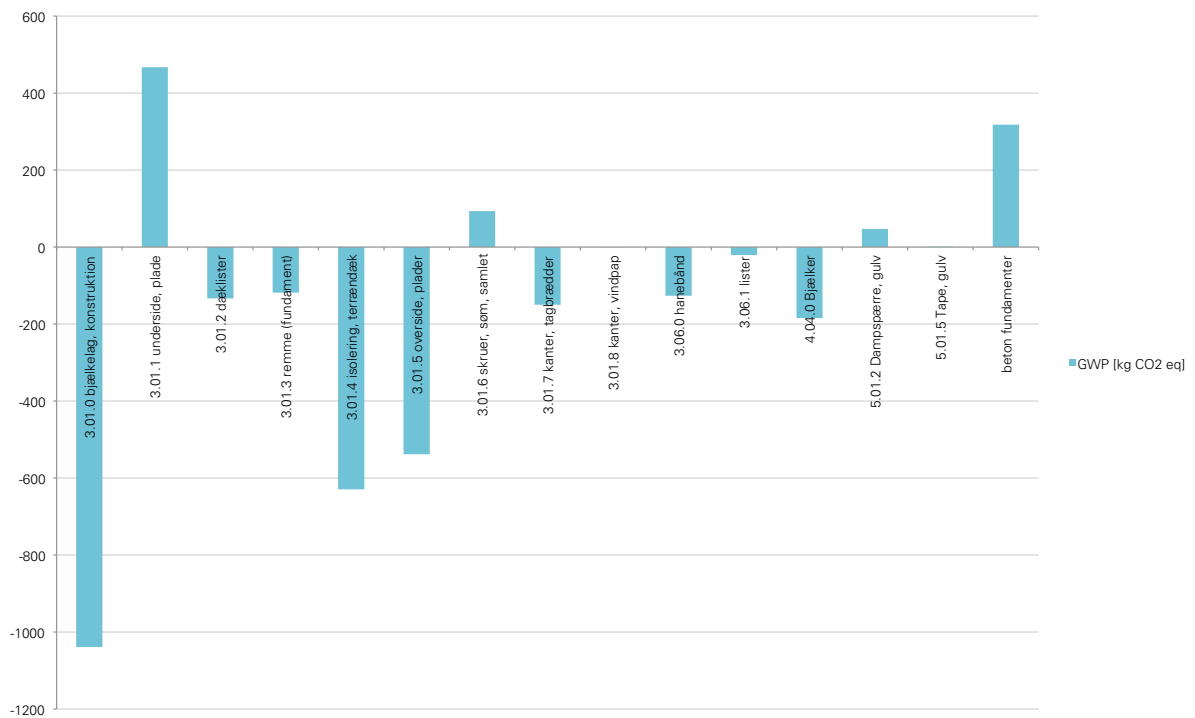


Diagram 25: GWP100 (CO2-footprint) for tagets materialer/komponenter over 50 år

## 5.2.4. Interiør

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
		CO2 eq	R11 eq	Ethen eq	SO2 eq	Phosphat eq								
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
1 3.05.0 træskelet	228,66	-125,82	-2,77E-07	-2,65E-03	-0,04	0,00	-1432,00	4085,91	2653,67	-148,15		-1,00E-04	-0,34	-5,68E-04
2 3.05.1 isolering	332,64	-116,25	3,52E-07	7,02E-04	0,02	-1,21	45,99	5422,04	5468,03	0,01				1,91E-05
3 3.05.2 vådrumsgips	992,20	256,61	7,43E-07	4,82E-02	0,47	0,10	4047,53	240,35	4296,51	134,07	-9,92E-01	8,51E-05	1,35	1,88E-03
3.05.3 dampspærre,														
4 vådrum	9,23	26,29	6,05E-09	9,42E-03	0,06	0,00	474,19	2,33	476,62	-5,21		-3,99E-06	0,01	3,42E-04
5 skruer, samlet	54,66	196,54	9,16E-07	5,46E-02	1,21	0,07	2488,99	187,37	2668,48	253,79	3,12E-04	-2,20E-04	1,40	1,22E-03
4.01.3 indvendige døre,														
6 inkl karm	254,27	-139,91	-3,08E-07	-2,95E-03	-0,04	0,01	-1592,39	4543,53	2950,88	-164,74		-1,11E-04	-0,37	-6,32E-04
7 4.01.4a skinne, skydedør	27,36	60,46	3,29E-07	1,79E-02	0,20	0,02	766,29	44,48	802,03	39,82	1,65E-04	-1,04E-04	0,41	3,37E-04
4.02.0														
8 varmfordelingsplade	265,44	954,46	4,45E-06	2,65E-01	5,85	0,33	12087,11	909,89	12958,74	1232,46	1,52E-03	-1,07E-03	6,80	5,92E-03
9 4.02.2 isolering	326,59	14,38	-1,03E-05	6,52E-02	0,84	0,08	-1091,95	7028,80	5936,29	0,90	-4,16E-06	2,59E-03	0,25	-3,33E-04
10 4.02.3 pex-rør	93,95	417,94	5,63E-07	2,87E-01	0,60	0,08	9400,45	299,42	9702,92	310,05		2,01E-04	0,71	4,28E-03
11 4.03.0 trægulve, samlet	1.538,46	-846,50	-1,86E-06	-1,78E-02	-0,26	0,03	-9634,62	27490,26	17854,07	-996,75		-6,74E-04	-2,27	-3,82E-03
12 4.03.2 stroer, samlet	253,47	-139,47	-3,07E-07	-2,94E-03	-0,04	0,01	-1587,38	4529,23	2941,59	-164,22		-1,11E-04	-0,37	-6,30E-04
13 4.03.3 gulvpap	17,17	-3,08	1,77E-06	6,19E-03	0,09	0,02	164,47	525,86	690,32	0,17	-1,30E-02	1,07E-03	0,02	4,75E-05
4.05.0 vægbeklædning,														
14 samlet	2.412,92	-1.327,65	-2,92E-06	-2,80E-02	-0,40	0,05	-15110,94	43115,72	28002,31	-1563,30		-1,06E-03	-3,55	-5,99E-03
4.05.1														
underkonstruktion														
15 vægbeklædning	112,91	-62,13	-1,37E-07	-1,31E-03	-0,02	0,00	-707,10	2017,54	1310,33	-73,15		-4,95E-05	-0,17	-2,81E-04
4.05.3 vægbeklædning														
16 gips	2,31	0,56	1,71E-08	9,50E-05	0,00	0,00	8,79	0,36	9,17	0,02	-2,31E-03	2,41E-07	0,00	3,99E-06
17 4.05.5 skruer, samlet	48,87	175,72	8,19E-07	4,88E-02	1,08	0,06	2225,29	167,51	2385,76	226,90	2,79E-04	-1,97E-04	1,25	1,09E-03
4.11.0 trappe, træ,														
18 samlet	129,15	-71,06	-1,56E-07	-1,50E-03	-0,02	0,00	-808,80	2307,73	1498,80	-83,67		-5,66E-05	-0,19	-3,21E-04
19 4.11.4 striktojs	1,83	2,65	2,48E-07	1,52E-03	0,01	0,00	31,85	26,77	58,62	0,01	1,31E-05	2,68E-05	0,01	1,09E-05
4.11.0 bordplader,														
20 samlet	104,25	-49,95	1,66E-07	2,76E-03	0,05	0,01	-527,05	1876,14	1349,00	-49,35		-3,35E-05	-0,13	-2,13E-04
21 4.13.0 lud, samlet	2,20	3,81	2,36E-07	6,48E-03	0,02	0,01	18,05	101,33	119,38	0,49	-2,20E-03	7,42E-09	0,00	1,45E-05
22 4.13.1 sæbe, samlet	9,52	16,51	1,02E-06	2,81E-02	0,07	0,04	78,20	439,11	517,32	2,11	-9,52E-03	3,22E-08	0,01	6,30E-05
23 6.3.0 trærammer	557,85	-306,94	-6,76E-07	-6,47E-03	-0,09	0,01	-3493,55	9968,08	6473,96	-361,42		-2,44E-04	-0,82	-1,39E-03
24 6.3.1 masonitplade	354,89	-78,69	1,31E-05	1,66E-01	1,37	0,34	-2552,75	5665,28	3112,53	0,84	4,77E-04	1,81E-04	0,21	-1,36E-03
25 6.3.2 stout	6,48	23,57	4,94E-07	2,62E-03	0,30	0,18	-7,53	138,11	130,57	36,93	-5,18E-03	3,92E-04	0,00	-7,98E-06
26 6.3.3 herstof	32,40	-1,35	-2,85E-07	5,54E-03	0,10	0,02	340,08	555,23	895,31	47,09	-2,54E-02	1,96E-03	0,09	-7,00E-05
27 6.3.4 pladevat	2,43	6,37	-2,11E-08	1,94E-03	0,01	0,00	172,51	4,64	177,15	4,36	-1,92E-03	1,55E-04	0,01	-5,24E-06
28 6.3.5 tang	1.051,53	-367,47	1,11E-06	2,22E-03	0,06	-3,82	145,39	17139,67	17285,06	0,04				6,04E-05

DGNB - criteria

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg]	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg Phosphat eq]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
total	9.223,66	-1.480,38	9,06E-06	0,96	11,49	-3,54	-6.050,89	138.832,69	132.725,43	-1.319,91	-1,05	2,62E-03	4,31	-3,45E-04

Tabel 11: LCI-resultater for delmodellen interiør

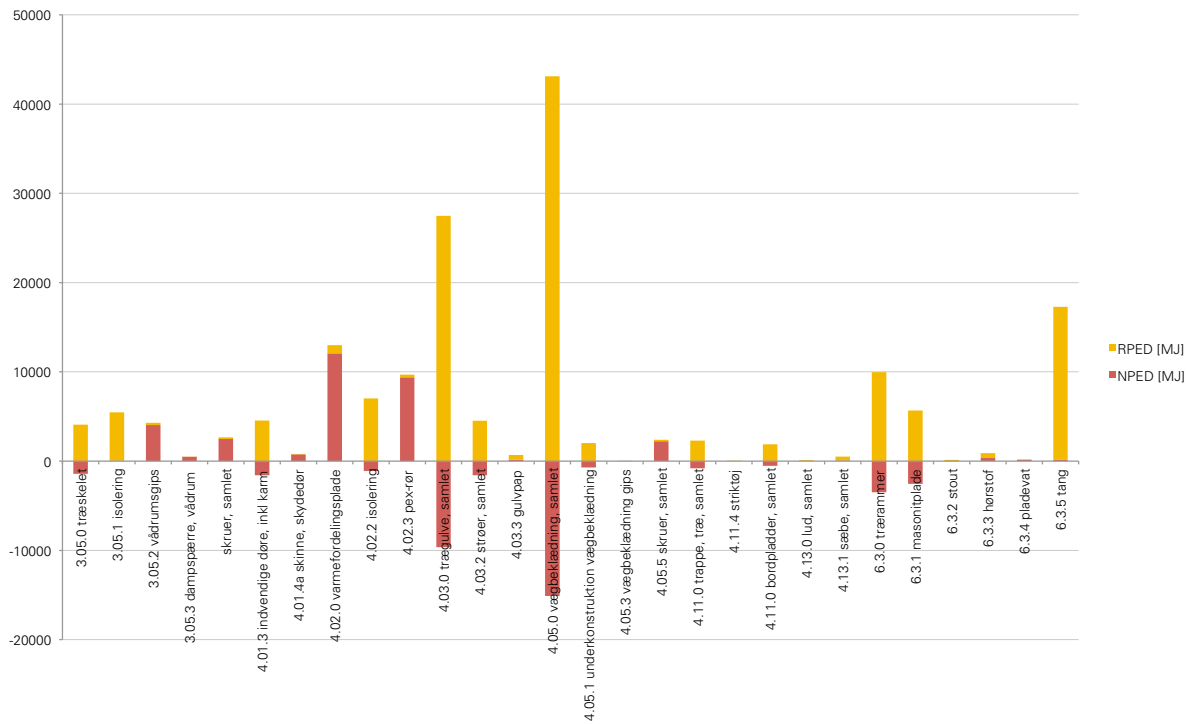


Diagram 26: Primærenergibehov for interiørets materialer/komponenter over 50 år.

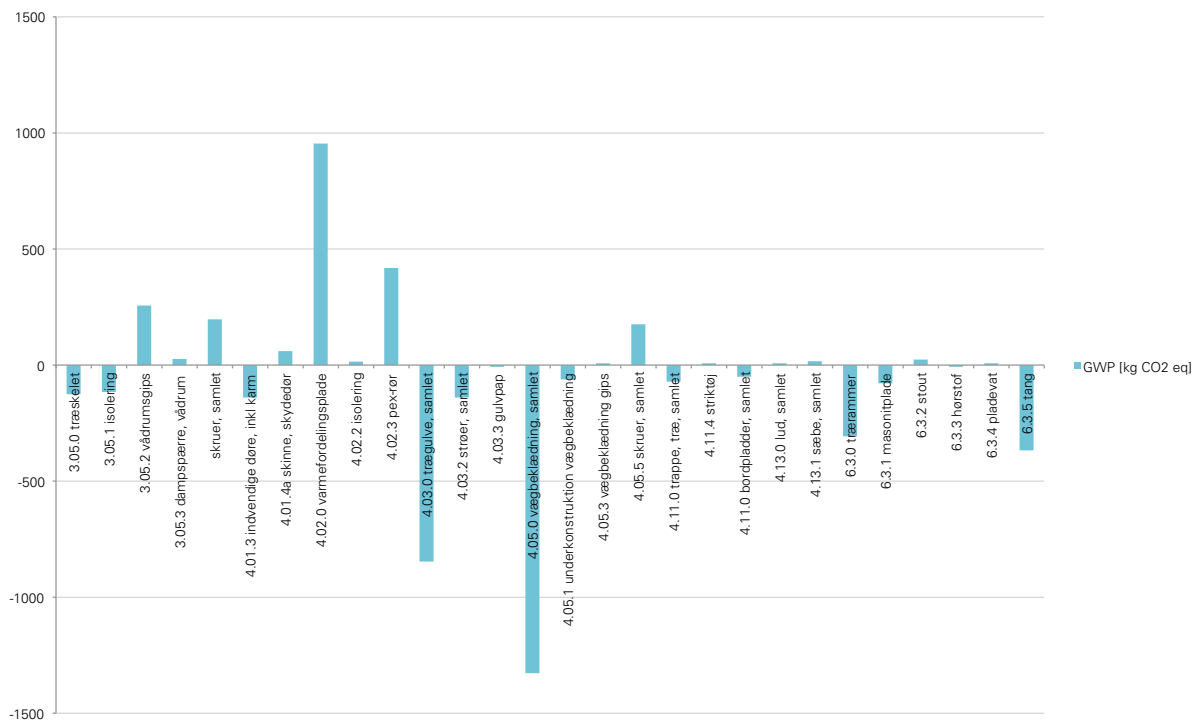


Diagram 27: GWP100 (CO2-footprint) for interiørets materialer/komponenter over 50 år



## 5.2.5. Baderum / toilet

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	CO2 eq	R11 eq	Ethen eq	SO2 eq	Phosphat eq									
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
1 3.02.0 gulvkonstruktion	29,75	56,35	2,88E-07	2,05E-02	2,07E-01	1,69E-02	780,38	20,47	790,75	15,05	1,70E-04	-1,71E-04	3,92E-01	3,65E-04
2 3.02.1 beton, samlet	1.074,68	122,68	2,69E-06	3,07E-02	2,78E-01	3,94E-02	725,76	24,98	928,29	10,56	-1,07E+00	7,13E-05	1,44E+00	3,05E-04
3 3.03.0 kunststofplade, varmeslanger	33,05	189,75	2,57E-07	4,02E-02	2,67E-01	3,00E-02	3196,07	118,09	3314,73	121,46		7,91E-05	2,81E-01	1,44E-03
4 3.03.1 plastrør, varmeslanger	16,79	158,89	1,65E-07	1,02E-01	2,00E-01	2,60E-02	3114,42	87,50	3202,98	91,05		5,87E-05	2,12E-01	1,43E-03
5 3.03.2 kantisolering	0,05	0,42	-5,00E-09	8,07E-05	5,02E-04	4,84E-05	6,64	0,05	6,69	0,10	4,92E-13	1,97E-07	-6,86E-05	3,22E-06
6 3.02.3 spartelmasse, samlet	117,05	31,20	2,43E-08	6,26E-03	5,47E-02	6,96E-03	450,10	15,11	465,51	14,07	-2,34E-01	8,59E-06	2,66E-01	2,15E-04
7 4.07.0 overfladebehandling	0,02	0,10	2,65E-10	3,92E-05	5,50E-04	2,19E-05	2,76	0,07	2,83	0,08	-3,74E-05	5,02E-08	2,19E-04	1,27E-06
8 4.07.1 gulvklinker	109,47	33,78	3,01E-08	5,76E-03	7,27E-02	7,03E-03	546,83	17,19	564,22	16,89	-1,09E-01	1,08E-05	1,74E-01	2,50E-04
9 4.07.2 vægfliser	638,94	197,14	1,76E-07	3,36E-02	4,25E-01	4,10E-02	3191,71	100,33	3293,23	98,59	-6,39E-01	6,30E-05	1,02E+00	1,46E-03
10 4.07.3 fliseklæber	31,18	20,02	1,36E-08	3,97E-03	3,41E-02	4,99E-03	119,59	13,14	198,05	7,41	-6,24E-02	4,70E-06	1,17E-01	5,17E-05
11 4.07.4 fugemasse	15,94	3,48	7,99E-08	9,26E-04	8,02E-03	1,35E-03	27,92	1,92	34,46	0,15	-1,59E-02	2,50E-06	2,84E-02	1,19E-05

DGNB - criteria

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg]	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg Phosphat eq]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
<b>total</b>	<b>2.066,92</b>	<b>813,81</b>	<b>3,72E-06</b>	<b>0,24</b>	<b>1,55</b>	<b>0,17</b>	<b>12.162,18</b>	<b>398,85</b>	<b>12.801,75</b>	<b>375,41</b>	<b>-2,14</b>	<b>1,28E-04</b>	<b>3,93</b>	<b>0,01</b>

Tabel 12: LCI-resultater for delmodellen bad

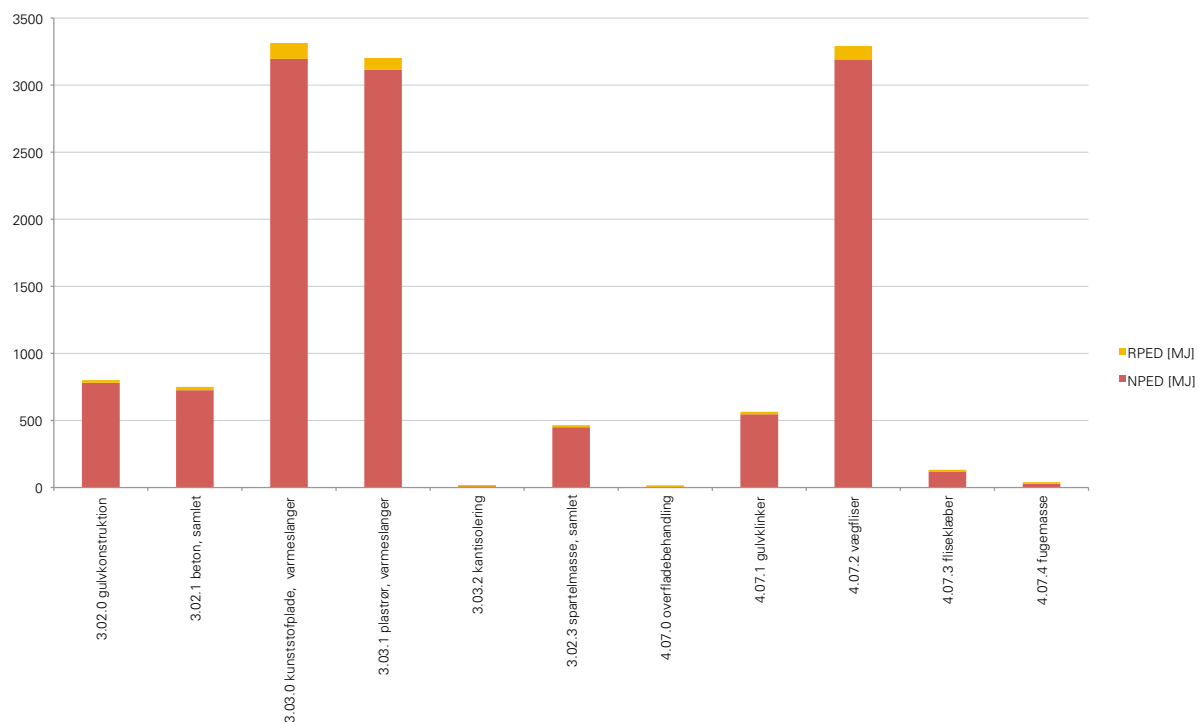


Diagram 28: Primærenergi for baderummets materialer/komponenter over 50 år.

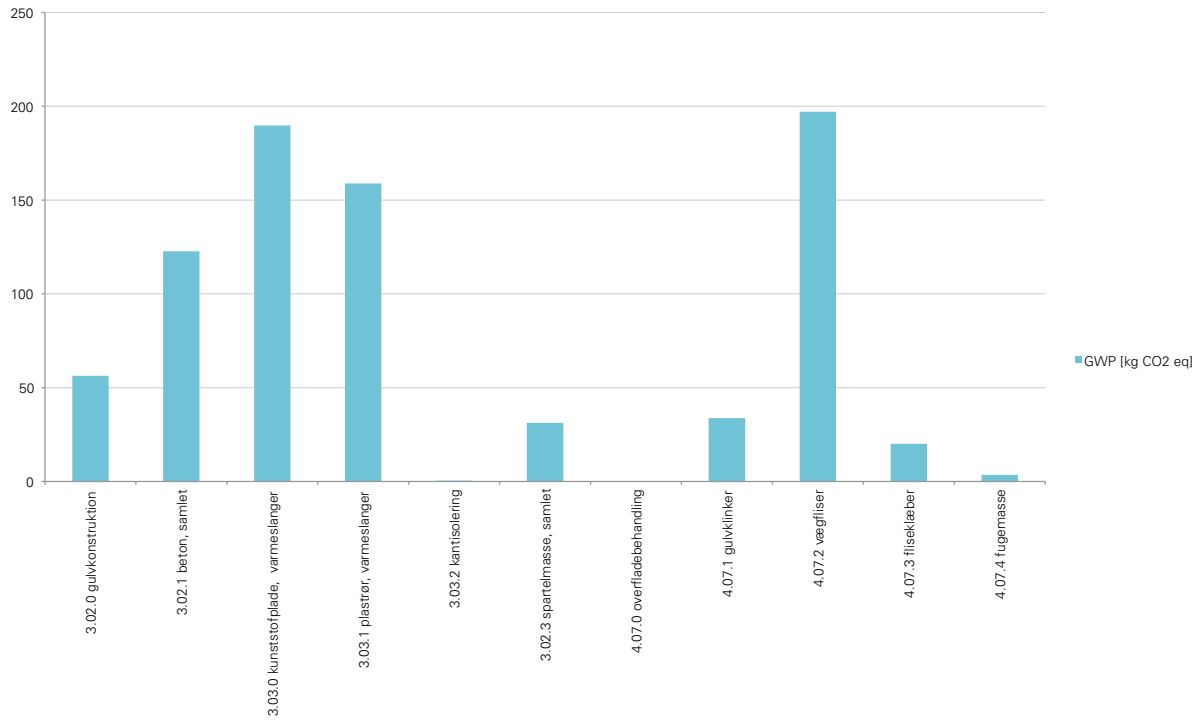


Diagram 29: GWP100 (CO2-footprint) for baderummets materialer/komponenter over 50 år

## 5.2.6. Udvendige bygningsdele

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
		CO2 eq	R11 eq	Ethen eq	SO2 eq	Phosphat eq	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
1 Bjælker, underkonstruktion	4.194,76	-2.009,82	6,70E-06	1,11E-01	2,10E+00	3,73E-01	-21207,75	75493,73	54285,98	-1985,60		-1,35E-03	-5,43	-8,57E-03
2 Terrassebrædder	655,84	-314,23	1,05E-06	1,74E-02	3,29E-01	5,84E-02	-3315,77	11803,23	8487,46	-310,44		-2,11E-04	-0,85	-1,34E-03
3 Beklædning, skærmvæg	106,60	-51,08	1,70E-07	2,82E-03	5,34E-02	9,48E-03	-538,95	1918,52	1379,57	-50,46		-3,42E-05	-0,14	-2,18E-04
4 Regler, skærmvæg	48,90	-23,43	7,81E-08	1,30E-03	2,45E-02	4,35E-03	-247,23	880,07	632,84	-23,15		-1,57E-05	-0,06	-9,99E-05
5 skruer, samlet	25,69	56,63	2,11E-07	-3,81E-02	1,87E-01	1,10E-02	695,92	88,48	784,40	118,63		4,88E-05	0,61	3,42E-04
6 fundamenter	2.786,20	318,06	6,98E-06	7,95E-02	7,22E-01	1,02E-01	1881,60	64,77	1946,37	27,38	-2,79	1,85E-04	3,73	7,91E-04

DGNB - criteria														
Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg ]	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg Phosphat eq]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
total	7.817,99	-2.023,87	1,52E-05	0,17	3,42	0,56	-22.732,18	90.248,80	67.516,62	-2.223,64	-2,79	-1,37E-03	-2,13	-0,01

Tabel 13: LCI-resultater for delmodellen udvendige bygningsdele

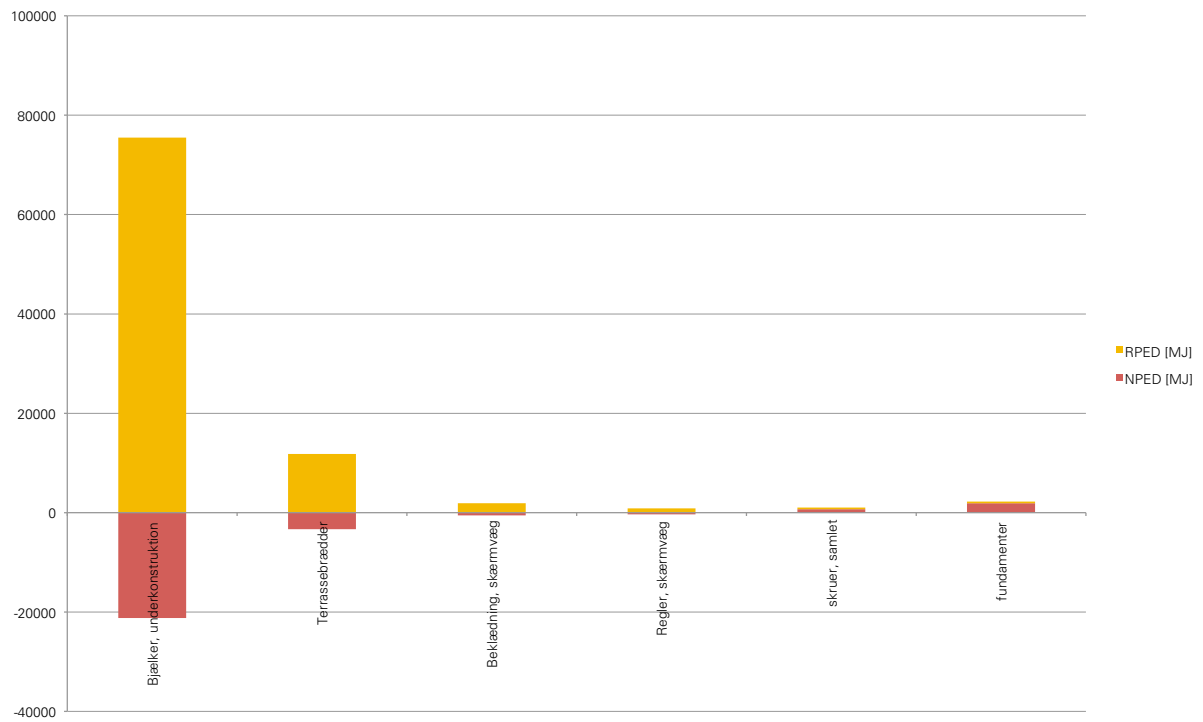


Diagram 30: Primærenergibehov for materialer/komponenter i udvendige bygningsdele over 50 år.

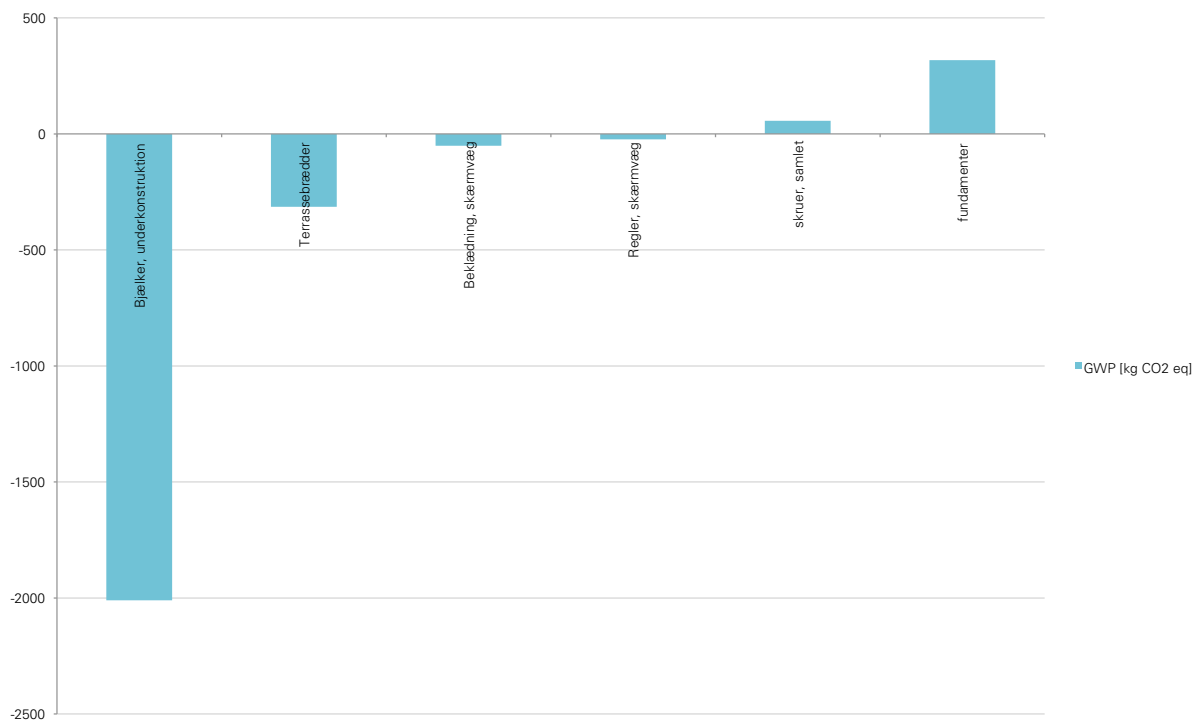


Diagram 31: GWP100 (CO2-footprint) for materialer/komponenter i udvendige bygningsdele over 50 år

## 5.2.7. Driftsenergi og anlæg

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP Phosphat eq	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	kg	CO2 eq	R11 eq	Ethen eq	SO2 eq	kg	MJ	MJ	MJ	t	t	t	t	t
1 opvarming, VP	0,00	48.177,15	1,40E-05	6,96	89,47	12,63	574449,41	229773,63	804223,04	121711,54	0,95	0,00E+00	90,29	6,75E-06
2 Ventilation, VGV	0,00	5.428,41	1,58E-06	0,78	10,08	1,42	64726,69	25889,99	90616,68	13713,98	0,11	0,00E+00	10,17	7,60E-07
3 elbhov apparaturer	0,00	69.438,42	2,02E-05	10,04	128,96	18,20	827962,29	331176,08	1159138,37	175424,62	1,37	0,00E+00	130,14	9,73E-06
4 varmepumpe	429,00	1.065,08	5,16E-04	0,49	3,43	0,28	22718,56	755,35	23391,79	738,22	0,01	4,29E-04	7,31	1,06E-02

DGNB - criteria

Material	weight	GWP	ODP	POCP	AP	EP [kg Phosphat eq]	NPED	RPED	TPED	Water	Waste	hazard. waste	excav. residues	abiotic res. depl.
	[kg]	[kg CO2 eq]	[kg R11 eq]	[kg Ethen eq]	[kg SO2 eq]	[kg]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
total	429,00	124.109,06	5,52E-04	18,28	231,94	32,53	1.489.856,95	587.595,04	2.077.369,87	311.588,36	2,43	4,29E-04	237,91	0,01

Tabel 14: LCI-resultater for delmodellen driftsenergi og anlæg

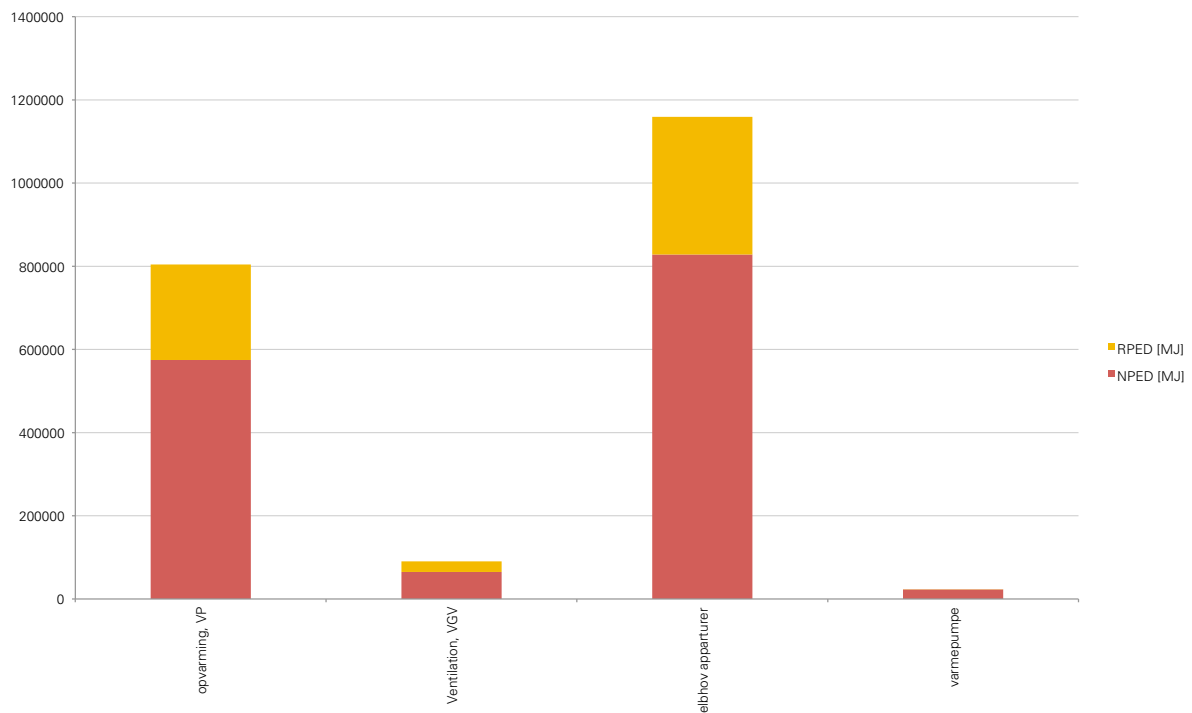


Diagram 32: Primærenergi behov for energiforsyningen og anlæg over 50 år.

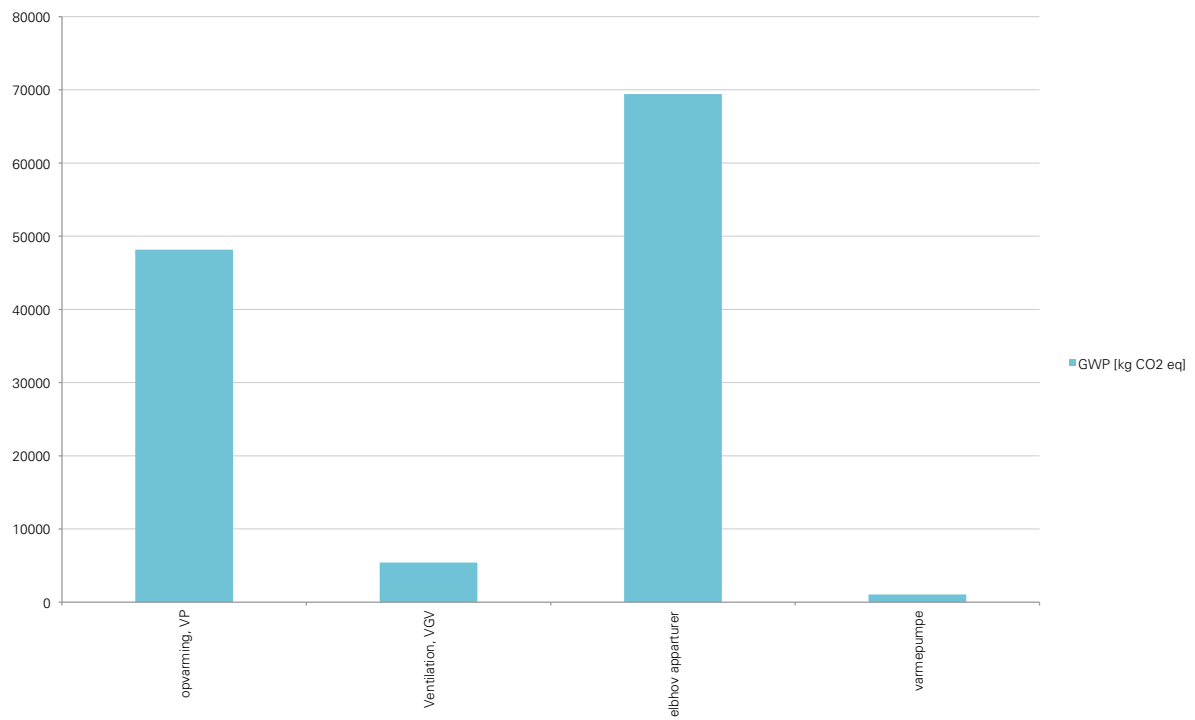


Diagram 33: GWP100 (CO2-footprint) for energiforsyningen og anlæg over 50 år

### 5.3. Miljødata for ålegræs

Ålegræs anvendes i to forskellige sammenhæng i projektet. Som isolering og som tag-og facadebeklædning. Livscykler og levetider er forskellige for begge to situationer.

LCI-data er beregnet i OpenLCA, baseret på livscyklusdata fra Ecoinvent databasen, Version 2.2.

Værdierne i tabel 15 er karakteriseret med CML2010 metoden. Alle værdier er blevet pålagt 10% sikkerhed, på grund af den manglende review af processerne. Baggrundsdata, dataindsamlingen og antagelserne for processerne er beskrevet i afsnit 4. For at gøre datasettet sammenlignelig med data fra andre byggeprodukter er transporten fra produktionsstedet til byggepladsen ikke inkluderet.

Produktsystemet fra OpenLCA er vist i Diagram 34.

Påvirkningskategori	GWP	ODP	POCP	AP	EP
<i>Enhed</i>	<i>[kg CO2 eq]</i>	<i>[kg R11 eq]</i>	<i>[kg Ethen eq]</i>	<i>[kg SO2 eq]</i>	<i>[kg Phosphat eq]</i>
isolering	-0,349	1,06E-09	2,11E-06	5,68E-05	-0,004
taginddækning	0,057	1,02E-09	2,11E-06	4,73E-05	-0,015

Tabel 15: LCI-data (cradle-to-grave) for ålegræsmaterialer, per kg materiale

Påvirkningskategori	NPED (non-renewable primary energy demand)	RPED (renewable primary energy demand)
<i>Enhed</i>	<i>[MJ]</i>	<i>[MJ]</i>
isolering	0,138	16,300
taginddækning	0,138	16,300

Tabel 16: LCI-data (cradle-to-grave) for ålegræsmaterialer, per kg materiale

Påvirkningskategori	Water usage	Waste	Hazardous waste	Excavation residues	Abiotic resource depletion
<i>Enhed</i>	<i>[t]</i>	<i>[t]</i>	<i>[t]</i>	<i>[t]</i>	<i>[t]</i>
isolering	0,036	-	-	-	5,74E-05
taginddækning	0,036	-	-	-	5,74E-05

Tabel 17: LCI-data (cradle-to-grave) for ålegræsmaterialer, per kg materiale

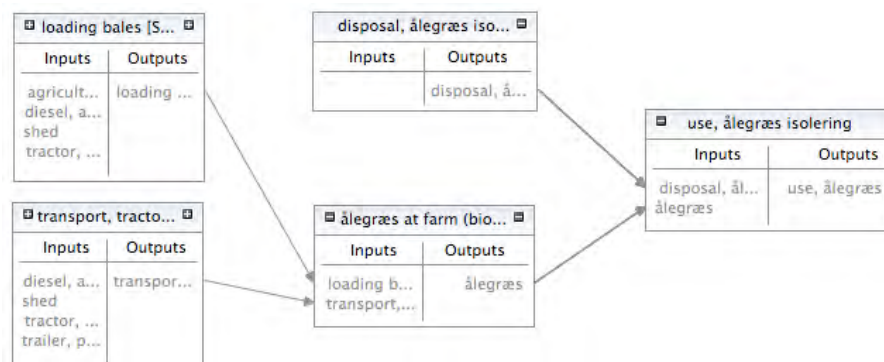


Diagram 34: Produktsystem for ålegræsisolering (visualiseret i OpenLCA)

## 5.4. Energibehovsberegningen

Energibehovsberegningen ligger til grunde for beregningen af miljøpåvirkninger fra energiforsyningen. Bygningens energibehov er blevet beregnet af Tegnastue Vandkunsten i programmet BE10, Version 6 (SBI), i November 2012.

Data i den følgende tabel er et udtræk af relevante data for el-behovet fra energibehovsberegningen.

(Værdier fra felter med grøn baggrund er relevant for livscyklusvurderingen.)

Model: Det Moderne TanghusBE10_30-11-2012_jsk		SBI Beregningskerne 6, 12, 6, 23											
Be10 resultater: Det Moderne Tanghus													
Energibehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
El til bygningsdrift	0,36	0,31	0,26	0,15	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	0,12	0,21	0,31	2,06
Overtemperatur i rum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,23	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
Samlet energibehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
BR 2010	0,89	0,78	0,64	0,38	0,19	0,30	0,39	0,27	0,18	0,30	0,51	0,77	5,61
kWh/m <sup>2</sup>	10,3	9,0	7,3	4,4	2,2	3,4	4,5	3,2	2,1	3,4	5,9	8,8	64,5
Lavenergibyggeri 2015	0,89	0,78	0,64	0,38	0,19	0,30	0,39	0,27	0,18	0,30	0,51	0,77	5,61
kWh/m <sup>2</sup>	10,3	9,0	7,3	4,4	2,2	3,4	4,5	3,2	2,1	3,4	5,9	8,8	64,5
Byggeri 2020	0,64	0,56	0,46	0,28	0,14	0,25	0,34	0,23	0,13	0,22	0,37	0,55	4,17
kWh/m <sup>2</sup>	7,4	6,5	5,3	3,2	1,6	2,9	4,0	2,6	1,5	2,5	4,2	6,4	48,0
Elbehov. Ekstern forsyning til bygning. Bygningsdrift													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Centralvarmeanlæg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varmt brugsvand	0	-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-0
Ventilationsanlæg	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	206
Kedel/fjernvarme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varmepumpe	340	297	238	136	59	48	48	48	56	102	188	290	1850
Solvarme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rumopvarmning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dec. elvandvarmere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Køling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Belysning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt til bygningsdrift	357	313	255	153	76	65	66	66	73	120	205	307	2056
kWh/m <sup>2</sup>	4,1	3,6	2,9	1,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	1,4	2,4	3,5	23,6
Elbehov. Ekstern forsyning til bygning. Samlet elbehov													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Bygningen	584	518	482	372	303	284	292	292	292	346	424	534	4723
Solcelledydelse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vindmølledelse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resulterende elbehov	357	313	255	153	76	65	66	66	73	120	205	307	2056
El til opvarmning	340	297	238	136	59	48	48	48	56	102	188	290	1850
El til andet end opvarmning	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	206
<b>Elbehov i ventilationsanlæg</b>													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varmeflader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilatorer	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	206
I alt	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	206
kWh/m <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,4
<b>Varmepumpe, Elbehov</b>													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Elbehov, rumopv.	276	240	177	80	6	0	0	0	6	48	131	228	1192
Elbehov, stb. rumopv.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26
Elbehov, VBV	59	54	57	52	48	43	44	44	46	50	52	57	605
Elbehov, stb. VBV	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26
I alt	340	297	238	136	59	48	48	48	56	102	188	290	1850
kWh/m <sup>2</sup>	3,9	3,4	2,7	1,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	1,2	2,2	3,3	21,3
<b>Elbehov til apparatur</b>													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Apparatur	227	205	227	219	227	219	227	227	219	227	219	227	2667
Natforbrug, apparatur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Særligt app. i brugstiden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Særligt app. altid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt	227	205	227	219	227	219	227	227	219	227	219	227	2667
kWh/m <sup>2</sup>	2,6	2,4	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	30,7
<b>Nettovarmebehov i rum</b>													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varmetab	1,34	1,24	1,20	0,92	0,60	0,35	0,27	0,29	0,50	0,73	0,97	1,21	9,63
Solindfald	0,10	0,17	0,26	0,31	0,40	0,41	0,41	0,35	0,27	0,21	0,12	0,07	3,08
Internt tilskud	0,32	0,29	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	3,81
Fra rør og VVB	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,70
Samlet tilskud	0,49	0,52	0,64	0,68	0,78	0,79	0,79	0,73	0,64	0,59	0,49	0,45	7,59
Relativt tilskud	0,36	0,42	0,53	0,74	1,32	2,24	2,88	2,56	1,28	0,81	0,50	0,37	
Udnyttelses-faktor	0,98	0,97	0,95	0,88	0,66	0,43	0,34	0,38	0,68	0,86	0,96	0,98	0,76
Del af mnd. med opv.	1,00	1,00	1,00	1,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	
Varmebehov	0,86	0,73	0,59	0,32	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,23	0,51	0,77	4,08
Opvarm. i vent. VF	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,10
Netto rumopvarmning	0,89	0,76	0,61	0,32	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,23	0,51	0,79	4,17
I alt, kWh/m <sup>2</sup>	10,2	8,7	7,0	3,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	2,6	5,9	9,0	46,9



## Referencer

- Anon, 2013. Heat of combustion. *Wikipedia, the free encyclopedia*. Available at: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Heat\\_of\\_combustion&oldid=552762707](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Heat_of_combustion&oldid=552762707) [Accessed May 13, 2013].
- Birch, W.R., 1975. Some Chemical and Calorific Properties of Tropical Marine Angiosperms Compared with Those of Other Plants. *Journal of Applied Ecology*, Vol 12(1), pp.201–212. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2401729>.
- Brandão, M. & Levasseur, A., 2011. *Assessing Temporary Carbon Storage in Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting - Outcomes of an expert workshop*, Luxembourg: European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- Bugge Mortensen, H., 2001. *Ved den blå fjords kyster: en rejse i landet omkring Hjarbæk Fjord, Skørping*; [S.I.]: Forlaget Rebild ; i samarbejde med Sparekassen i Skals.
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2001. *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*, Berlin: BMVBW.
- Davies, P. et al., 2007. Structure and properties of fibres from sea-grass (*Zostera marina*). *Journal of Materials Science*, 42(13), pp.4850–4857. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10853-006-0546-1> [Accessed March 29, 2013].
- DGNB, 2010. DGNB Manual, Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude. Version 2010.
- Energistyrelsen (ENS), 2012. *Danmarks Energifremskrivning, 2012*, København: Energistyrelsen.
- European Commission. Joint Research Centre, 2010. *ILCD handbook general guide for life cycle assessment: detailed guidance*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Feifel, S., 2009. Ökobilanzierung 2009 - Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit: Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009, Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009. In KIT Scientific Publishing.
- Hans Brix & Jens Erik Lyngby, 1984. A survey of the metallic composition of *Zostera marina* (L.) in the Limfjord, Denmark. *Arch. Hydrobiology*, 1984(3), pp.347–359.
- Holmer, M. & Kristensen, E., 2013. ålegræs / det moderne tanghus på Læsø.
- Johnson, E., 2009. Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(3), pp.165–168. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195925508001637> [Accessed May 13, 2013].
- Kibsgaard, S., Kaarup Jensen, J. & Realdania Byg, 2012. *Kalines tanghus på Læsø.*, [Odense]: Realdania Byg.
- Kristensen, E. & Holmer, M., 2012. *Karakteristik af tangtag – nedbrydelighed og kemisk sammensætning*, Odense: Biologisk Institut, Syddansk Universitet.
- Murakoa, D., 2004. Seaweed resources as a source of carbon fixation. *Bulletin of Fisheries Research Agency*, 2004(Supplement 1), pp.59–63.
- Naturhistorisk Museum, 2013. Ålegræs. *Ålegræs*. Available at: <http://www.naturhistoriskmuseum.dk/naturlex/planter/aalegraes/side.htm> [Accessed May 12, 2013].
- PE International, 2011. Methodische Grundlagen - ökobilanzierte Umweltsindikatoren im Bauwesen.
- Pedersen, C. & Ransby, E., 2005. *Production and Properties of Insulation Mats Made from Sea Grass*, Hørsholm [Denmark]: SBI.
- Rabl, A. et al., 2007. How to account for CO2 emissions from biomass in an LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(5), pp.281–281. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1065/lca2007.06.347> [Accessed May 13, 2013].
- Realdania Byg, 2012. Tanghuse på Læsø. *Tanghuse på Læsø*. Available at: <http://www.realdaniabyg.dk/projekter/tanghuse-paa-laesoe> [Accessed April 16, 2013].

Samuel Cabot Incorporated, 1928. Build warm houses with Cabot's Quilt. , p.8.

Tegnestuen Vandkunsten, 2012. Det Moderne Tanghus - Feriebolig på Læsø for Realdania Byg, Beskrivelse.

Wyllie-Echeverria, S. & Cox, P.A., 1999. The Seagrass (*Zostera Marina* [Zosteraceae] Industry of Nova Scotia (1907-1960). *Economic Botany*, 1999(53), pp.419-426.