

Sag / Straatagets Kontor

Emne / Livscyklusvurdering af stråtag

Dato / 29.09.2020

Jan S. Kauschen  
Michael Granby-Larsen  
Vandkunsten

## 1 Abstract

Livscyklusvurderingen beskriver miljøpåvirkningerne af et stråtag. Det overordnede formål med undersøgelsen er at fremhæve, hvilke potentielle miljøpåvirkninger der er i forbindelse med et stråtag. Der foretages en sammenligning med andre traditionelle opbygninger af tage med hældning. Selve livscyklusundersøgelsen er sat i værk af Straatagets Kontor, som håber at kunne benytte resultaterne fremadrettet, til at promovere tækkebranchen og stråtaget som et bæredygtigt og klimavenligt produkt.

## 2 Overordnet resumé

Livscyklusvurderingen beskriver miljøpåvirkningerne forbundet med en stråtagskonstruktion. I nærværende rapport sammenlignes et standard stråtag i forhold til andre konstruktionsopbygninger på markedet. Til denne undersøgelse vil følgende funktionel enhed gøre sig gældende:

*"1 m<sup>2</sup> tagdækning med underliggende tagkonstruktion, som skal have en sammenlagt isoleringsevne på 0,1 W/m<sup>2</sup>K over en levetid på 50 år i Danmark."*

I livscyklusvurderingen testes to typer opbygning af stråtage. Den ene hvor stråtaget er brandsikret med en glasfiberdug fra Sepatec. Den anden er en løsning, hvor tagrør bliver lagt ovenpå en konstruktion af rupløjede brædder, som ligeledes er monteret som et brandsikrende/-hæmmende lag. Udover sammenligningen af tagdækninger, vil der også i denne livscyklusvurdering undersøges, hvilken effekt et stråtag vil have på et typehus. Typehuset som er brugt i undersøgelsen, er et 1,5-plans Hallandshus fra Trelleborg Helårshuse - Fritidshuse A/S. Hallandshuset har et bruttoareal på 169 m<sup>2</sup>. Her vil en anden funktionel enhed gælde:

*"Skabe ramme for beboelse på et bruttoareal på 169 m<sup>2</sup> i en periode på 50 år i Danmark. Huset benyttes 24 timer om dagen, alle dage i året, hvert år."*

På en betragtningsperiode på 50 år, vil en stråtagskonstruktion med Sepatec spare 24,19 kg CO<sub>2</sub>-eq./m<sup>2</sup> i forhold til en tagkonstruktion med tagpap pr. m<sup>2</sup> og 27,54 kg CO<sub>2</sub>-eq./m<sup>2</sup> sammenlignet med betontegl. Forskellen mellem de to undersøgte stråtagskonstruktioners GWP er ikke synderlig stor. Et stråtag med Sepatec, samt underliggende tagkonstruktion, har et GWP på 16,15 kg CO<sub>2</sub>-eq. pr. m<sup>2</sup> tagkonstruktion, hvor et stråtag med rupløjede brædder har et GWP på 14,52 kg CO<sub>2</sub>-eq. pr. m<sup>2</sup> – en besparelse på ca. 11%.

Hvis man tager disse resultater for stråtaget med Sepatec brandsikring og sætter det i perspektiv til Trellebogs Hallandshus. Vil selve tagkonstruktionen udgøre 9,4% af bygningens samlede GWP i en betragtningsperiode på 50 år. Med Hallandshuset som eksempel bliver det også tydeliggjort, at der er meget CO<sub>2</sub> at spare, ved at benytte stråtage. Der kan spares 4,47 tons CO<sub>2</sub>-eq., hvis man vælger et Sepatec sikret stråtag fremfor tagpap og 5,08 tons CO<sub>2</sub>-eq. i forhold til betontegl.

Leverandøren af tagrør har også stor relevans for stråtagets GWP. Dette skyldes transporten af tagrør, som varierer meget alt efter om det er blevet produceret i Danmark, andre steder i Europa eller i Kina. For en danskproduceret kvadratmeter stråtag, bruges der 0,4 kg CO<sub>2</sub>-eq. på transport af tagrør. Dette er markant mindre end tagrør produceret i Kina, hvor alene transporten af tagrør for en kvadratmeter stråtag udgør 13,33 kg CO<sub>2</sub>-eq.. Dermed er det en langt mere miljøvenlig løsning at bruge tagrør, der er produceret tættere på byggepladsen, da det mindsker CO<sub>2</sub>-aftrykket markant i forbindelse med transporten.

## Indhold

<b>1 Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Overordnet resumé</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Indledning</b> .....	<b>4</b>
3.1 Fremgangsmåde for LCA.....	5
3.2 Begrebsintroduktion.....	5
<b>4 Goal (Formål)</b> .....	<b>6</b>
4.1 Tilsigtet anvendelse og grundlag .....	6
4.2 Begrænsninger .....	6
4.3 Beslutningsgrundlag .....	6
4.4 Målgruppe .....	6
4.5 Offentliggørelse.....	7
4.6 Opdragsgiver og betydningsfulde aktører .....	7
<b>5 Scope (Afgrensninger)</b> .....	<b>7</b>
5.1 Intention.....	7
5.2 Funktion .....	8
5.2.1 Funktionel enhed (FU) .....	8
5.2.2 Referenceflow .....	8
5.3 LCI-metodik og håndtering af multifunktionelle processer.....	9
5.4 Systemgrænser .....	9
5.5 Datakvalitet.....	12
5.5.1 Geografisk repræsentativitet .....	13
5.5.2 Teknologisk repræsentativitet.....	13
5.5.3 Tidsmæssig repræsentativitet.....	14
5.6 Basis for life cycle impact assessment.....	14
5.7 Forhold angående sammenlignelighed.....	14
5.8 Kritisk review .....	15

<b>6</b>	<b>Life Cycle Inventory Analysis (Kortlægning)</b>	<b>15</b>
6.1	Materialeliste	15
6.1.1	Drift	20
6.1.2	Levetid og EOL	20
6.2	Dataindsamling (validering)	25
6.3	Usikkerhedsanalyse	25
6.4	Følsomhedsanalyse	27
<b>7</b>	<b>Life Cycle Impact Assessment (Miljøpåvirkninger)</b>	<b>29</b>
7.1	Midpoints	29
7.1.1	Miljøpåvirkningskategorier	30
7.1.2	Karakterisering	31
7.1.3	Normalisering	32
7.2	Hotspot-analyse – Tagdækning og -konstruktion	33
7.3	Hotspot-analyse – Trelleborg Hallandshus med stråtag	35
7.4	Transport af tagrør	38
<b>8</b>	<b>Konklusion</b>	<b>40</b>
8.1	Fortolkning af resultater	40
8.2	Begrænsninger af fremgangsmåde	41
8.3	Anbefalinger på baggrund af livscyklusvurdering	41
<b>9</b>	<b>Bilag</b>	<b>43</b>
9.1	DGNB referencebygning	43
9.2	Miljøpåvirkninger for stråtag uden Sepatec og stållister	43
9.3	IBF betontagsten EPD	44
9.4	U-værdiberegninger for tagkonstruktioner	45
9.5	Stråtag udvidet systemgrænser	47
<b>10</b>	<b>Referencer</b>	<b>48</b>

## 3 Indledning

Tækkefaget er en gammel branche, som i de seneste år har haft en inspirerende udvikling. Nutidens stråtag er både en brandsikker og klimavenlig løsning, da det er en konstruktion som består af naturligt materiale. Strå kan udover bruges til tage, også bruges i facadeopbygninger. Her har tækkebranchen været nytænkende og kreative de seneste år angående anvendelsen af strå. Da de mener, at materialet har mere potentiale, end blot at benyttes til tagdækninger. Nærværende livscyklusvurdering er modelleret efter et klassiske trætypehus lavet af Trelleborg Helårshuse - Fritidshuse A/S. Typehuset danner grundlag for undersøgelsen af hvilken effekt et stråtag kan have på den miljømæssige påvirkning. Typehuset er et 1,5-planshus og har et bruttoareal på 169 m<sup>2</sup>. Typehusets tagkonstruktionen har en hældning på 48 grader, da taghældningen for stråtage minimum skal være 45 grader, for at vandet kan løbe ordentligt af taget. Stråtaget er generelt en dyrere løsning at implementere end andre tagkonstruktioner, men besidder andre værdier æstetisk, isoleringsmæssigt og ikke mindst klimaorienteret. Når et stråtag har gjort sig nyttigt i en estimeret levetid på 50 år, kan det enten bruges som kompost eller brændes af og derved indgå i produktion af energi på et kraftvarmeværk. På begge måder kan man udnytte den resterende energi/næringsværdi, der er lagret i det naturlige materiale, hvilket er til gavn for miljøet.

Det mest benyttede materiale i stråtage i Danmark er sumplanten tagrør. Tagrør er en plante som hører til græs-familien og bliver 100-300 cm høj. Tagrør optager i sin levetid meget CO<sub>2</sub>. For hvert kilo tørret tagrørsmateriale, har planten optaget 1,723 kg CO<sub>2</sub><sup>1</sup>. Til en m<sup>2</sup> stråtag, skal der bruges ca. 44,6 kg tagrør, hvilket også medfører at tagdækningen har en tykkelse på omkring 30 cm. Et stråtag har en estimeret levetid på 50 år<sup>2</sup>. I denne levetid vil omkring 50% af tagrørsmateriale dekomponere på selve tagfladen.



Figur 1 - Stråtag under opbygning

Kilde: <https://straatagetskontor.dk/>

<sup>1</sup> LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut, s. 10.

<sup>2</sup> LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut, s. 4.

## 3.1 Fremgangsmåde for LCA

Denne livscyklusvurdering benytter EPD'er<sup>3</sup> som datakilde og -grundlag for beregninger af miljøpåvirkninger. Der er ud fra tegningsmaterialet fra Trelleborgs Hallandshus fundet EPD'er der tilnærmer sig de materialevalg, der er i det pågældende typehus. Tegningsmaterialet har også bidraget med information vedrørende mængder af materialer. Disse mængder har gjort sig gældende for analysen af stråtagets indflydelse på miljøpåvirkningen af et typehus. Mængder og modelleringen af stråtaget er foretaget på baggrund af dialog med Straatagets Kontor, samt data fra en stråtags EPD foretaget for Carlo F. Christensen af Teknologisk Institut<sup>4</sup>.

Beregninger er foretaget i SBI's<sup>5</sup> LCA-værktøj LCAbyg, som yderligt beskrives i afsnit 5.6. Opbygningen af livscyklusvurderingen, på baggrund EPD'er og LCAbyg, medfører at kun bestemte miljøpåvirkningskategorier er inkluderet i LCA'en. Disse miljøpåvirkningskategorier kommenteres i afsnit 7.1.1 og 7.1.3.

## 3.2 Begrebsintroduktion

### LCA – Life Cycle Assessment

En LCA er livscyklusvurderingen som helhed. Den kan variere i anvendt metodik, det skal derfor tydeligt fremgå, hvilke forudsætninger som er benyttet i analysen/rapporten. I denne undersøgelse anvendes CML 2001 baseline<sup>6</sup>, da denne metode er den mest udbredte i byggebranchen. For normaliseringsfaktorer er der ydermere brugt data fra World 2000 (data.worldbank.org). CML 2001-metoden er lavet af Leiden Universitet, Holland<sup>7</sup>.

### LCI – Life Cycle Inventory Analysis

En LCI tager udgangspunkt i at indsamle data vedrørende produktet. I LCI'en beskrives der hvilke antagelser og forudsætninger, der er benyttet som modelleringsgrundlag for analysen. Derudover tages der også stilling til kvaliteten af det indsamlede og benyttede data.

### LCIA – Life Cycle Impact Assessment

En LCIA kvantificerer de miljøpåvirkninger det undersøgte produkt har. Der kan ses på resultaterne fra flere forskellige synsvinkler. Dette er f.eks. i form af karakteriserede "midpoints".

### Fortolkning/Interpretation

Resultaterne skal i den 4. fase fortolkes, hertil kan der vælges at gøre brug af normalisering eller vægtning i forbindelse med resultaterne. Disse resultater for miljøpåvirkningen kan efterfølgende indarbejdes i en "hotspot-analyse", som kan være med til at tydeliggøre, hvilke faktorer der har den største indflydelse for produktets miljøpåvirkninger.

Da denne rapport benytter CML 2001-metoden, vil der udelukkende tages udgangspunkt i midpoints. For mere information omhandlende de benyttede miljøpåvirkningskategorier i analysen, se afsnit 7.1.1.

---

<sup>3</sup> EPD - Environmental product declaration (Miljøvaredeklaration).

<sup>4</sup> LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut,

<sup>5</sup> SBI - Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.

<sup>6</sup> [http://adm-global.org/productionsupporttools/Impact\\_Analysis\\_CML.html](http://adm-global.org/productionsupporttools/Impact_Analysis_CML.html)

<sup>7</sup> <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors#downloads>

## 4 Goal (Formål)

### 4.1 Tilsigtet anvendelse og grundlag

Livscyklusvurderingen har det til formål at informere Straatagets Kontor om, hvorledes deres branche med stråtage påvirker miljøet i en levetid på 50 år. Analysen udføres med henblik på at tækkebranchen fremadrettet kan promovere deres produkter som et miljøvenligt produkt, der er påvist mere klimavenligt end konkurrerende produkter. En anden vigtig del af denne undersøgelse er at få foretaget en hotspot-analyse. Analysen skal identificere, hvor stor en indflydelse et stråtag har på et typehus miljøpåvirkninger som helhed.

Selve undersøgelsen bygger på et typehus fra Trelleborg Helårshuse – Fritidshuse A/S.

Tegningsmateriale for et træhus i 1,5-plan, danner grundlag for analysen i livscyklusvurderingen. Der vil blive undersøgt varierende tagkonstruktioner, som vil blive sammenlignet. Der vil foretages to sideløbende analyser, 1) Forskel af miljøpåvirkning for 1 m<sup>2</sup> tagdækning, 2) Tagdækningens samlede miljøpåvirkning i forbindelse med et typehus.

### 4.2 Begrænsninger

Denne livscyklusvurdering bliver foretaget af et specifikt typehus fra Trelleborg. Dermed vil resultaterne kun afspejle det pågældende hus, med de valgte materialer/komponenter. Resultaterne kan hermed ikke benyttes til at deklarere firmaets andre typehuse. Rapporten kan dog give et fingerpeg om, hvorvidt de materialer, der benyttes i typehusene, har af potentiel indflydelse på miljøet.

Der vil være fokus på tagkonstruktionen, som i det valgte eksempel, er et saddeltag med en hældning på 48 grader. Der vil dermed også være begrænsninger i sammenlignelighed med andre tagkonstruktioner, da opbygningen af tage kan variere meget i form, og mængder af materialer afhænger deraf.

### 4.3 Beslutningsgrundlag

Grundlaget for LCA-undersøgelsen er, at Straatagets Kontor ønsker at tage stilling til bæredygtigheden af deres branches produkt. Brancheorganisationen har ambitioner om at få indsigt i miljøpåvirkningen af deres tagdækning, med henblik på at markedsføre deres produkt som en klimavenlig løsning. Beslutningsgrundlaget for studiet kan klassificeres som "Situation C1", hvilket betyder at undersøgelsen mere er for at understøtte påstande, og få tal på hvilken miljøpåvirkning opdragsgiverens produkt har. Undersøgelsen er altså mere af beskrivende karakter, hvor der ikke vil foretages nogle beslutninger på baggrund af rapporten. Der vil blive foretaget en hotspot af produktet, som selvfølgelig fremadrettet kan bruges til at foretage beslutninger vedrørende optimering af produktets bæredygtighed. Det er dog antaget, at der i første omgang er mere fokus på at få dokumentation af produktets livscyklus og sammenligning med konkurrerende produkter på markedet.

### 4.4 Målgruppe

Målgruppen for undersøgelsen er Straatagets Kontor. Det fælles kontor for tækkebranchen, vil gerne få indsigt i hvordan deres branches produkt performer miljømæssigt i forhold til andre standardprodukter på markedet.

## 4.5 Offentliggørelse

Straatagets Kontor besidder alle rettigheder af rapporten. Det er dermed op til dem, hvorvidt livscyklusvurderingen skal offentliggøres. Der henvises til, hvis resultater fra livscyklusvurderingen skal anvendes til markedsføring, at et 3. parts review skal gennemføres. Straatagets Kontor har som udgangspunkt tænkt sig at bruge livscyklusvurderingen, til at promovere klimavenligheden af stråtage og dermed fremme tækkebranchen. Dette vil komme til udtryk offentligt igennem markedsføring.

## 4.6 Opdragsgiver og betydningsfulde aktører

Opdragsgiver af følgende livscyklusvurdering er Straatagets Kontor. Straatagets Kontor er finansieret af Tækkelaugget (brancheforeningen) og Sepatec, der står for brandsikring af stråtage. Straatagets Kontor står for opgørelse af valide data på den valgte case. De har fået tilladelse af Trelleborg Helårshuse – Fritidshuse A/S til at benytte tegningsmateriale af et af deres typehuse til modelleringen i LCA'en. Straatagets Kontor har valgt Tegnestuen Vandkunsten, som udøverer af livscyklusundersøgelsen. Der vil blive foretaget et tredjeparts review af livscyklusvurderingen, i og med at Straatagets Kontor vil benytte resultaterne til markedsføring af tækkebranchen. Tredjeparts reviewet vil blive lavet af ekstern LCA-ekspert Morten Birkved.

## 5 Scope (Afgrænsninger)

### 5.1 Intention

Intentionen med denne livscyklusvurdering er at tilbyde Straatagets Kontor detaljeret indsigt i branchens produkts miljøpåvirkning. Der vil i rapportens LCIA indgå en hotspot-analyse af stråtagets påvirkning på et typehus. Derudover vil der foretages sammenligninger med konkurrerende produkter på markedet, som der kvantificerer og specificerer, hvilke tagkonstruktioner, som har størst og mindst indflydelse på miljøet. Det er især vigtigt for Straatagets Kontor at få en sammenligning mellem forskellige opbygninger af tagkonstruktioner, så de kan dokumentere, hvor klimavenlig deres løsning er på markedet. Brancheorganisationen vil gerne have indsigt i deres produkts klimabelastning, blandt andet opgjort i miljøpåvirkningskategorien Global Warming Potential (GWP), da de dermed kan promovere stråtage, som en løsning til at bidrage til regeringens nyvedtaget klimalov (2019), hvor Danmarks udledning af drivhusgasser skal reduceres med 70% frem mod 2030 i forhold til niveauet fra 1990.

## 5.2 Funktion

Hallandshuset fra Trelleborg er et klassisk typehus udført i træ. Huset er beregnet til beboelse, ophold og samlingssted for en familie. Dets primære funktion er at beskytte mod vejret og afgrænse det private familieliv fra det offentlige rum. Det pågældende typehus har et bruttoareal på 169 m<sup>2</sup>.

Tagkonstruktionen er en del af dette typehus som kan variere. De hovedsagelige funktioner for tagdækning og -konstruktion er at sikre og afdække huset fra vind og vejr, dvs. at det skal holde tørt og udøve en vis isoleringsevne, med henblik på at bibeholde varme i huset. Denne isoleringsevne er der sat krav til, da det er med til at mindske varmekonsumet i forbindelse med driften af huset. Tagkonstruktionen for følgende typehus har en hældning på 48 grader. Stråtage har et minimumskrav på hældningen af taget på 45 grader, hvilket sikrer at taget kan lede vand væk, så tagrørene ikke rådner med tiden.

Baseret på DGNB er betragtningsperioden (valgte levetid for brugsfasen) for LCA-analysen defineret til at være 50 år og 120 år for boligbebyggelser. De to resultater vægtes med hhv. 70% og 30% i DGNB-systemet. Det er valgt i nærværende rapport at definere betragtningsperioden til 50 år. Denne betragtningsperiode er valgt ud fra den er vægtet højest i DGNB-regi, samt den også er valgt i Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens frivillige bæredygtighedsklasse<sup>8</sup> og af SBI som en referenceværdi for LCA'er ud fra et globalt studie<sup>9</sup>. Det skal dog nævnes, at flere af materialerne der bruges i typehuset, har en længere levetid end denne betragtningsperiode. Her skal det tages til overvejelse, hvorvidt disse materialer stadig har yderlig levetid teknisk, funktionelt eller æstetisk.

Levetider i denne undersøgelse er baseret på SBI's levetidstabel<sup>10</sup> fra 2013, heri er der kun medtaget antagne tekniske levetider.

Det skal bemærkes, der selvfølgelig er en vis usikkerhed angående levetider for beboelsesbyggeri. SBI har i deres vejledning, sat parceller til at have en funktionel middellevetid på 120 år. Det er dog kun enkelte bygningsdele, som besidder en så lang levetid, hvilket også medfører der vil foretages en del materiel udskiftning i levetiden. Dette gør sig også gældende for den valgte betragtningsperiode på 50 år, dog vil der ikke være nær så mange udskiftninger i denne forkortede periode. For de materialer som der vurderes til at have en kortere levetid, vil der defineres et referenceflow for hvor mange udskiftninger der foretages, med henblik på at typehuset skal opfylde kravene for den funktionelle enhed (FU).

### 5.2.1 Funktionel enhed (FU)

#### 1) 1 m<sup>2</sup> tagdækning - sammenligning

*1 m<sup>2</sup> tagdækning med underliggende tagkonstruktion, skal have en sammenlagt isoleringsevne på 0,1 W/m<sup>2</sup>K over en levetid på 50 år i Danmark.*

#### 2) Samlet miljøpåvirkning for Trelleborg 1,5-plans Hallandshus.

*Skabe ramme for beboelse på et bruttoareal på 169 m<sup>2</sup> i en periode på 50 år i Danmark. Huset benyttes 24 timer om dagen, alle dage i året, hvert år.*

### 5.2.2 Referenceflow

<sup>8</sup> Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2020, Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse, s. 60.

<sup>9</sup> SBI 2020:04 - Klimapåvirkning fra 60 bygninger, 2020, Birgisdóttir et al., s. 25, tabel 3.

<sup>10</sup> <https://www.aalborg.dk/media/3998808/bilag-09-sbi-vejledning-levetider.pdf>



Der vil i forbindelse med livscyklusvurderingen tages stilling til de enkelte bygningsdeles levetid, og defineres referenceflows for diverse materialer i forbindelse vurderingen. Disse referenceflows vil blive defineret med henblik på den funktionelle enhed for typehusets eller tagdækningens betragtningsperiode på 50 år. Der er en stor usikkerhed i byggebranchen, for hvor lang levetid hvert enkelt materiale har, og det afhænger i høj grad af udførelsen af byggeriet. I denne LCA er materialers levetid først og fremmest vurderet på baggrund af produktspecifikke EPD'er. Hvis det ikke er muligt at få en produktspecifik EPD, vil modelleringen foretages på baggrund af en produktrelateret EPD. I de tilfælde hvor det ikke var muligt at opspore en EPD som belæg, er vurderingen af levetider taget på baggrund af SBI's vejledning og standarder.<sup>11</sup>

Referenceflows i forbindelse med modelleringen af denne LCA er at finde i afsnit 6.1.2.

### 5.3 LCI-metodik og håndtering af multifunktionelle processer

Dette studie bestræber sig for at efterfølge ISO 14044 standarderne<sup>12</sup> så vidt muligt, for hvordan man håndterer multifunktionelle processer. Der vil først og fremmest forsøges at benytte "sub-division", når man skal bearbejde sekundære eller multifunktionelle processer. Med sub-division forsøger man at opdele enhedsprocesser op i to eller flere underprocesser, og dermed samle input og output i disse underliggende processer. I de tilfælde hvor sub-division ikke kan lade sig gøre, vil man forsøge at benytte systemudvidelse som metode. Det betyder at man forsøger at udvide produktsystemet, sådan at det omfatter en eller flere ekstra funktioner. For de sekundære eller multifunktionelle processer, hvor systemudvidelse heller ikke er en mulighed, vil standarderne følges og der vil gøres brug af allokering. I denne livscyklusvurdering vil der ved allokering tages udgangspunkt i masse (kg) som beregningsenhed for analyse med typehuset og isoleringsevne ( $W/m^2K$ ) for analysen med tagdækning. Der også eksempler, hvor der allokeres med henblik på densitet. Men her er det også med tanke på at opnå samme vægt. Grunden til at der allokeres med en anden enhed, skyldes at der i LCAbyg, er forskel i opbygningen i deres EPD-database. Dermed varierer det hvilken en enhed der benyttes som enhedsfaktor for de forskellige komponenter/materialer.

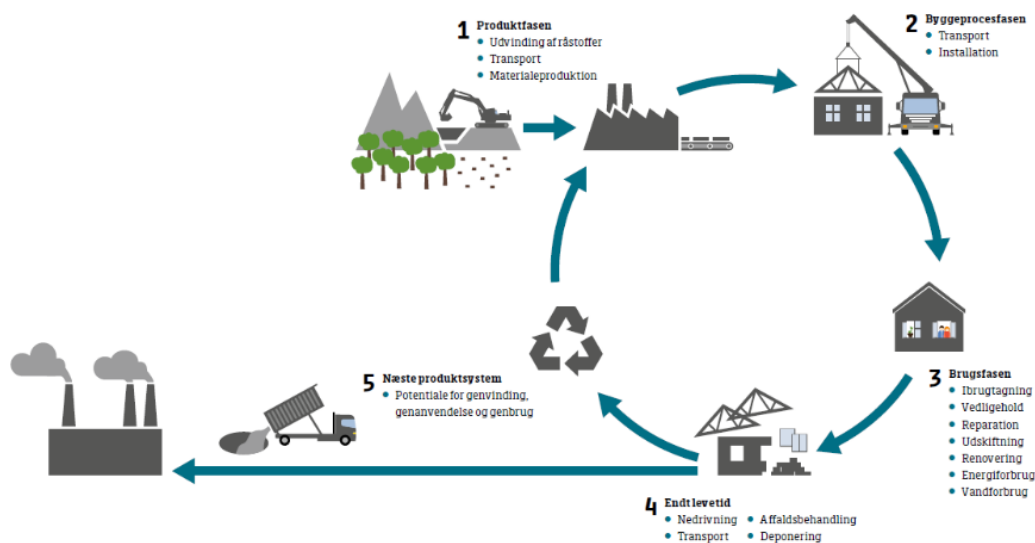
Der benyttes "*Attributionel systemmodel*", hvilket vil sige at man tager udgangspunkt i de miljøpåvirkninger, som kan tilskrives det undersøgte produkt. Standarden for denne metodik, er at benytte gennemsnitlige data angående opbygning af baggrundssystemet. Baggrundssystemet er de processer som står til grund for opbygningen af produktet og forgrundssystemet. Dvs. at det er de processer som er relaterede til produktionen af komponenterne til typehuset (her er der også lavet separat for stråtagskonstruktionen). Derudover er det de processer som sker efter nedrivningen, det er altså distributionen af affald til genbrug, forbrænding eller deponering.

### 5.4 Systemgrænser

---

<sup>11</sup> SBI 2013:30 - Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi, 2013, Haugbølle et al.

<sup>12</sup> ISO 14044 – Dansk Standard, 2. udgave, 2008. Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Krav og vejledning  
Denne danske vejledning og regelsæt bygger på de internationale standarder: ISO 14044:2006



Figur 2 - Visualisering af livscyklusen for beboelse/typehus, de forskellige faser forbundet til systemgrænserne. Denne rapport tager udgangspunkt i de første 4 faser.

Kilde: <https://www.lcabyg.dk/index> (TBST / SBi)

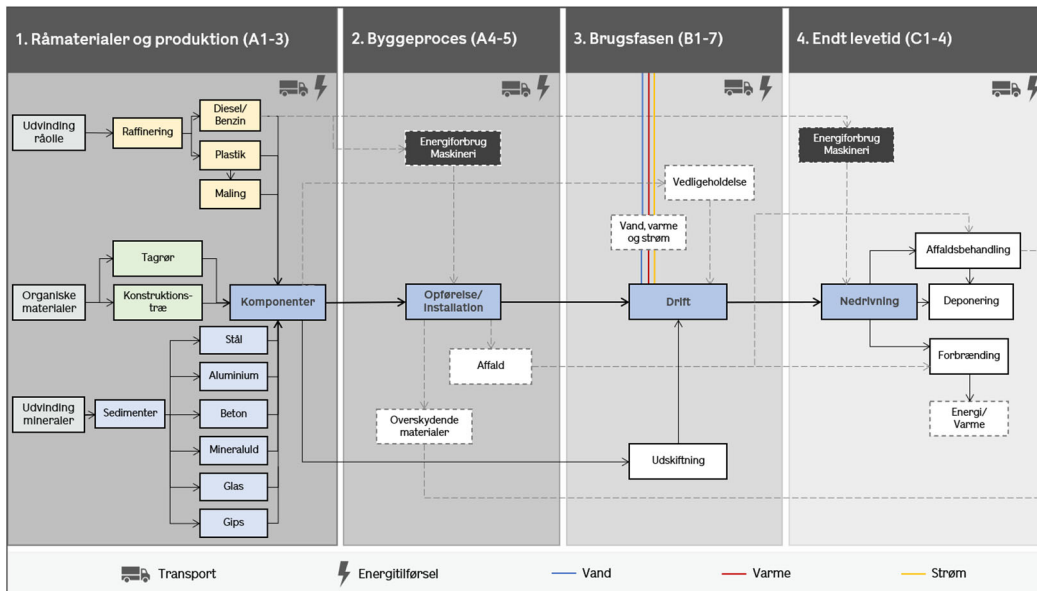
Systemgrænserne giver et indblik i hvordan hele processen for produktet er fra "Vugge til grav"<sup>13</sup>. Dvs. at der tages udgangspunkt i hvordan råmaterialer udvindes og processen derom. Disse råmaterialer bliver så behandlet i produktfasen, hvor de bliver omdannet til underprodukter/komponenter til hovedproduktet (typehuset eller tagkonstruktionen, afhængigt af den undersøgte funktionelle enhed). Det skal noteres, at der i hver eneste fase i systemgrænserne, i en eller anden form vil gøres brug af transport og energitilførsel.

De færdige bygningskomponenter bliver fragtet til byggepladsen, hvor installationen af produkterne begynder. Dette er byggeprocessen. Her vil der i høj grad benyttes ydelser fra maskineri, dette er dog ikke modelleret i analysen, da denne fase (A4-5) ikke er inkluderet i analysen. Dette fremgår endvidere af figur 5, hvor det ligeledes heller ikke er en del af DGNB's vejledning at medtage disse processer i bygnings-LCA'er. Når typehuset/tagkonstruktionen er færdigbygget, vil det overgå til brugsfasen, hvor produktet står overfor sin estimerede levetid på 50 år. Det er her, at man med den undersøgte typehus/tagkonstruktion, skal tage stilling til vedligeholdelse og eventuelle udskiftninger af komponenter.

Efter en levetid på 50 år vil typehuset/tagkonstruktion komme til sin fjerde fase, End of Life (EOL). Her vil produktet gennemgå en affaldshåndtering, hvor huset/taget vil blive tilskrevet for de processer, hver enkelt komponent fra huset/taget vil gennemgå. Modelleringen af EOL i LCAByg varierer for komponenterne, men generel konsensus er, at materialerne bliver deponeret eller brændt. Sidste fase er næste produktsystem, denne fase vil ikke blive medregnet i denne livscyklusvurdering. Denne fase indeholder potentiel genanvendelse, genvinding og

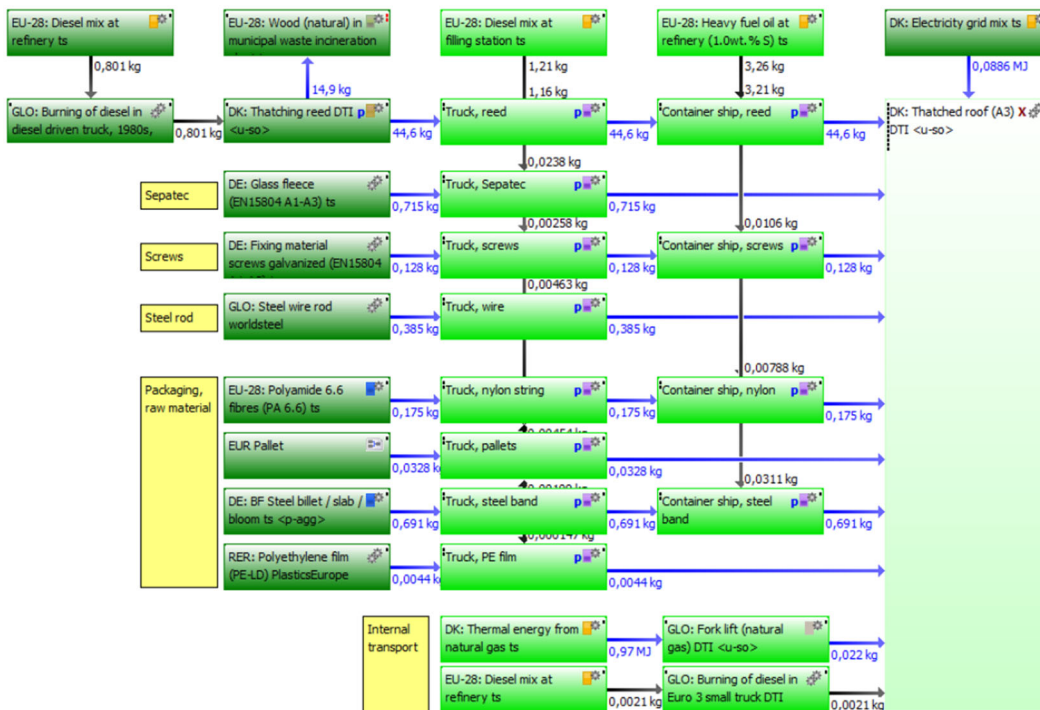
<sup>13</sup> Vugge til grav - oversat: "Cradle to grave".

genbrug af materialer. Disse processer kan også medregnes og benyttes til at kreditere produktet for den mængde energi, som potentielt kan bespares i de nye produktsystemer.



**Figur 3 – Systemgrænser Trelleborg Hallandhus med stråtag.** I hver enkelt fase vil der være transport og noget energitilførsel forbundet, hvilket også er indikeret. Alt som er markeret tager del i processerne for modellering i LCAbyg. Det der er markeret med stiplede, er ikke medregnet i analysen, men vil være processer som reelt set er inkluderet i produktets livscyklus.

I nærværende case vil der essentielt være noget overskydende materiale og affald i forbindelse med installationen. Dette gælder både for processen med stråtagkonstruktionen, hvor der sker en frasortering af tagrør, men også for materialer i forbindelse med typehuset. Restmateriale og affald vil ikke blive inkluderet i modelleringen, selvom det kan have en betydelig faktor i forbindelse med byggeriets miljøbelastning. Her er det vigtigt at forsøge, at få genanvendt eller genbrugt overskydende materiale fra byggeriet, for dermed at minimere spild. Det er vist i figur 3, hvordan denne tilgang optimalt set vil behandles i produktsystemet. Her vil affaldet gå direkte til EOL-fasen og blive affaldssorteret. Overskydende materiale forsætter ud af systemgrænserne til næste produktsystem (D), hvor det vil blive genanvendt eller genbrugt. Dette kunne f.eks. være i forbindelse med tagrørene, hvor frasorterede eller andet restmateriale fra tagrørene, kan få en funktion andetsteds. Dette kunne f.eks. være i form af facadekonstruktioner, hvor der ikke skal bruges lige så lange rør/strå. Ellers kan det også gøres som anvist i figur 4, som viser opbygningen af anvendte EPD for stråtag. Her bliver overskydende stråmateriale forbrændt i en del af processen med energiudvinding. Dog er det at foretrække, at tagrørene får en længere brugsfase.



Figur 4 - Systemgrænser stråtag produktionsfase (A1-A3), Input/output flowdiagram.

LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut, s. 38, Figure 27.

Kilde: <https://straatagetskontor.dk/wp-content/uploads/2017/05/001-EPD-Straatag-Carlo-F.-Christensen.pdf>

I figur 5, ses hvilke faser, der er inkluderet i analysen. Udover hvad der er inkluderet i denne rapport, er det også påvist DGNB's vejledning for medtaget livsfaser og processer. Grunden til at der er nogle anmærkninger med parentes, skyldes at disse faser er delvist medregnet i benyttede EPD'er. Dette skyldes at der i nogle EPD'er regnes med estimer og gennemsnitlig transport i forbindelse med produktionsfasen og EOL. Her er der en variation fra EPD til EPD.

fase	Produktionsfase					Bygge-/ Anlægs-fase							Brugs- og driftsfase				End-of-Life				Information udover bygnings livscyklus		
	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	Byggematerialer- /komponent-produktion	Transport til byggepladsen	Opførelse / indbygning	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Fornyelse / standsættelse	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							
LCA	X	X	X	(X)		X			X		X			(X)	X	X							

Figur 3 - Faser der er inkluderet i livscyklusvurderingen, samt DGNB's vejledning.

## 5.5 Datakvalitet

Datakvaliteten for livscyklusvurdering af stråtag er rimelig veldokumenteret. Ved hjælp af EPD'er som datakilde, har det været muligt at finde repræsentative data til beregningerne i analyseværktøjet LCAByg (beskrevet i afsnit 5.6), da materialemængder for produktet er angivet i tegningsmaterialet.

Det valgte typehus fra Trelleborg Helårshuse – Fritidshuse A/S er der angivet nøjagtige mængder på, der er dog ikke producent angivet for diverse materialer i byggeriet. Det er derfor valgt at benytte nogle meget standardiserede materialer på markedet i modelleringen af typehuset. Nogle datasæt er af høj kvalitet, da de på baggrund af godkendte EPD'er er modelleret nøjagtigt og produktspecifikt i LCAByg. Langt størstedelen af materialerne er blevet opbygget på baggrund af produktrelaterede EPD'er. De produkter, hvor der ikke er fundet nogle produktspecifikke eller -relaterede EPD'er, er der benyttet generisk data fra LCAByg's integrerede database eller Ökobau.dat-databasen. I afsnit 6.2 er der links til alle de benyttede EPD'er i forbindelse med livscyklusvurderingen.

## 5.5.1 Geografisk repræsentativitet

Der er i denne livscyklusvurdering taget udgangspunkt i opførelsen af et typehus i Danmark. Straatagets Kontor ønsker at se hvilken påvirkning deres produkt har på miljøet, samt blive klogere på, hvordan stråtaget performer miljømæssigt på det danske marked i forhold til konkurrerende produkter, såsom tagkonstruktioner med tegl og tagpap. Derfor er der så vidt muligt forsøgt at medtage danske produktionsprocesser i forbindelse med materialerne. Her er der i forbindelse med det analyserede stråtag opnået god repræsentativitet. Der er i den benyttede EPD medregnet produktionsprocessen svarende til den der er på markedet, samt transport til Danmark fra varierende lande. Denne transport vil yderligt blive kommenteret i afsnit 7.4. Derudover er der inkluderet en forbrændingsproces fra danske kraftvarmeværker, hvor energi udvinding af materialer tilskrives.

Det er antaget at den generelle data hovedsageligt stammer fra danske enhedsprocesser eller tilsvarende standarder, i og med analysen bygger på SBI's data. Da deres database blandt andet bygger på den tyske database Ökobau.dat, må det antages at en del af de generiske enhedsprocesser stammer fra Tyskland, eller er data fra det europæiske marked. Denne data må antages at stemme fint overens med de processer, som finder sted her i Danmark.

Data vedrørende normaliseringsfaktorerne er forbundet med data globalt set. Dette er værd at bemærke, da en personækvivalent i Danmark, har et større forbrug end den gennemsnitlige verdensborger. Dette er med til at skabe en vis usikkerhed i forhold til normaliseringen.

## 5.5.2 Teknologisk repræsentativitet

Teknologisk er den følgende livscyklusvurdering bygget op på de nuværende procesmetoder i forbindelse affaldshåndtering og energiforsyning i produktionsfasen. Der vil være en vis usikkerhed omkring de valgte EOL-scenarier, der er benyttet i de EPD'er som denne analyse er baseret på. Den teknologiske udvikling sker hurtigt, og dermed vil det være svært at forudsige hvordan affaldshåndteringen vil se ud om 50 år, når levetiden/betraktningensperiode er gået. Det er valgt i denne rapport ikke at medtage energiforsyningen af byggeriet, da der tages udgangspunkt i scenarier for tagdækninger med samme isoleringsevne, dermed antages det at det er en konstant for analysen. Her vil der muligvis også være en diskussion i fremtiden, om hvor vidt det kan betale sig miljømæssigt at benytte så meget isoleringsmateriale i byggeriet, hvis vi i højere grad kan benytte vedvarende grøn energi til opvarmning af bygninger. Dette er dog en påstand, som man ikke vil kunne gøre noget ved på nuværende tidspunkt, hvor der er lovkrav angående isolering af bygninger som skal følges og som ser bort fra de relaterede miljøpåvirkninger.

Der er teknologisk set også taget hensyn i stråtags EPD, for hvor produktionen af tagrør finder sted. Dette kommer til udtryk i forbindelse med forbruget af fossile brændsler af høstningsmaskinerne.

### 5.5.3 Tidsmæssig repræsentativitet

Den tidsmæssige repræsentativitet har en tilsvarende udfordring, som den teknologiske. Her kan der som beskrevet ske visse ændringer ude i fremtiden, som ville kunne påvirke driften og håndteringen af endt levetids miljøpåvirkning.

Selve modelleringen bygger på gyldige EPD'er, hvilket betyder de er mindre end 5 år gamle. Dette er med til at sikre at der er god tidsmæssig repræsentativitet.

Selve CML-metoden er med sine normaliseringsfaktorer mindre repræsentativ, da faktorerne er baseret på data fra år 2000. Dette skaber også usikkerhed for data. F.eks. er der globalt set sket en stigning i GWP pr. indbygger i perioden fra 2000. Samtidig i denne periode er der sket en reducereing i udledning af drivhusgasser pr. indbygger i Danmark og Europa<sup>14</sup>.

### 5.6 Basis for life cycle impact assessment

LCAByg er et værktøj, der kan benyttes til at beregne livscyklusvurderinger for bygninger. Med LCAByg kan man beregne en bygnings miljøprofil og ressourceforbrug. Man kan indtaste informationer om bygningsdelene og bygningens overordnede energiforbrug. Værktøjet tager sig automatisk af LCA-beregningerne og samler resultaterne.

LCAByg er udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, med økonomisk støtte fra Trafik- og Byggestyrelsen. Versionen af LCA-værktøjet er *LCAByg 3.2.0.4*, denne version af værktøjet bygger på data fra SBI. De har er blandt andet benyttet data fra den frit tilgængelige tyske database Ökobaudat (2016). Ökobaudats database af EPD'er er opbygget på baggrund af EN 15804 standarderne, hvilket betyder at de er lavet i overensstemmelse med de internationale standarder og regler. LCAByg benytter CML 2001 baseline-metoden, denne metode er den mest udbredte i byggebranchen og benyttes også i forbindelse med mange EPD'er. For normaliseringsfaktorer er der ydermere brugt data fra World 2000 (data.worldbank.org). Normeringsfaktorerne kan ses i Tabel 11, afsnit 7.1.3.

### 5.7 Forhold angående sammenlignelighed

Resultaterne af denne livscyklusvurdering er kun sammenlignelige med produkter der opfylder samme funktionelle enhed, som pågældende produkt. Dvs. typehuset fra Trelleborg kan sammenlignes med andre huse, med henblik på at de skaber ramme for beboelse med et tilsvarende bruttoareal på 169 m<sup>2</sup>. Hertil kan der så justeres med et referenceflow for at matche den funktionelle enhed for denne undersøgelse. Resultaterne kan derved sammenlignes med andre typehuse bestående af andre materialer. På denne måde kan det tydeligt ses, hvilken indflydelse det vil have at skifte nogle af de materialer, som har en stor påvirkning på miljøet, med andre materialer som har en mindre påvirkning.

Selve tagkonstruktionen kan også sammenlignes med andre konkurrerende opbygninger og materialer. Igen skal den funktionelle enhed overholdes. Der er udført sammenligninger i denne rapport for to typer stråtage og konkurrerende opbygninger af tagpap og betontegl. Her er der tilpasset med mængden af isoleringsmateriale med henblik på at tagkonstruktionerne har samme isoleringsevne. Ydermere skal der også i forbindelse med en

---

<sup>14</sup> <https://www.dst.dk/da/Statistik/bagtal/2018/2018-12-06-fakta-om-danmarks-udledning-af-drivhusgasser-samt-energiforbrug>

sammenligning af produkter, sikres at detaljeringsgraden for modelleringen af produktsystemer foretages i et ligestillet niveau, da det ellers kan skævvride resultaterne.

## 5.8 Kritisk review

Hvis denne rapport resultater, skal benyttes til nogen form for udgivelse eller markedsføring, skal rapporten og dens resultater valideres af en tredje part. Reviewet af en tredje part, som er uafhængig af livscyklusvurderingen, skal sikre at livscyklusvurderingen er foretaget hensigtsmæssigt og i videst muligt omfang i overensstemmelse med ISO14044 standarderne.

Da Straatagets Kontor har intentioner om at benytte nøgletal og resultater fra denne rapport til deres fremadrettet markedsføring, vil et tredjepart review blive foretaget. Det kritiske tredjeparts review vil blive udført af Morten Birkved, ekstern LCA-ekspert.

## 6 Life Cycle Inventory Analysis (Kortlægning)

### 6.1 Materialeliste

Nedenfor ses en materialeliste over de byggematerialer/-dele som er benyttet i forbindelse med modelleringen af livscyklusvurderingen. Der er en separat materialeliste for opbygningen af Trelleborgs Hallandshus uden installationer, tagdækning og tagkonstruktion (Tabel 1). Derudover er der fire tagkonstruktionsopbygninger: Stråtag med Sepatec brandsikring (Tabel 2), Stråtagkonstruktion med rupløjede brædder (Tabel 3), Betontegl (Tabel 4) og Tagpap (Tabel 5). Bygningsdelene er nummereret ud fra BIM 7AA kodningsstruktur<sup>15</sup>.

Bygningsdel	Vægt [kg]
<b>Samlet bygning</b>	<b><u>64.611</u></b>
<hr/>	
<b>121 - Linjefundament</b>	<b>16.590,49</b>
Termoblok - vanger	1.377,16
Termoblok - isolering	100,83
Armeringsstål	604,50
Beton	14.508,00
<b>131 - Terrændæk</b>	<b>28.428,96</b>
Beton	20.160,00
Armeringsstål	305,76
Kapillarbrydende lag (Singels 2-15 mm)	7.560,00
EPS - Jackon	403,20
<b>214 - Ydervægge, trækonstruktion</b>	<b>4.840,87</b>

<sup>15</sup> BIM 7AA er en form for typekodning, som er en videreudvikling af SfB-systemet.

Dampspærre (PE)	20,04
Mineraluld Rockwool 300mm	799,43
Cembrit Windstopper 9mm	1.247,10
Trækonstruktion	1.644,45
Beslag og skruer	63,95
Gipskartonplade 13mm	1.065,90
<b>224 - Indervægge, træskellet</b>	<b>4.515,01</b>
Beslag og skruer	28,59
Krydsfiner 4x 12mm	2.195,48
Gipskartonplade 2x 13mm	1.905,80
Trækonstruktion	385,14
<b>233 - Etagedæk</b>	<b>4.105,02</b>
Dampspærre (PE)	16,26
Indendørsmaling	16,26
Beslag og skruer	24,40
Krydsfiner 18mm	702,60
Mineraluld Rockwool 190mm	386,27
Filt, glasfiber	10,16
Trækonstruktion	1.214,50
EPS Sundolit	26,84
Gulvvarmerør Rifeng	81,32
Gipskartonplade 2x 13mm	1.626,40
<b>311 - Hoveddør</b>	<b>121,13</b>
Dør, udvendig	121,13
<b>312 - Vinduer - Træ/alu</b>	<b>1.375,91</b>
Aluminiumsramme	107,80
Træramme	235,40
3-lags glastruder	1.032,71
<b>315 - Vandbræt, fyrretræ</b>	<b>11,40</b>
Fyrretræ 22x120mm	11,40
<b>321 - Indvendige døre</b>	<b>318,00</b>
Indvendige trædøre Daloc	318,00
<b>413 - Fyrtræsbeklædning</b>	<b>1.326,90</b>
Beslag og skruer	10,66
Fyrtræ 22mm	1.069,31
Trækonstruktion	246,93



<b>421 - Indervægge malerbehandlinger</b>	<b>82,58</b>
Indendørsmaling	51,61
Filt, glasfiber	30,97
<b>422 - Vægfliser, vådzone</b>	<b>622,01</b>
Keramikfliser, glaseret	469,44
Mørtel, muremørtel, Fliseklæber	152,57
<b>432 - Gulv, fliser</b>	<b>843,65</b>
Keramikfliser, glaseret	718,00
Mørtel, fliseklæber	125,65
<b>433 - Gulv, trælaminat</b>	<b>1.428,93</b>
Trælaminat 13mm	1.377,86
Lydmåtte 2,5mm Adfors	51,06

Tabel 1 - Materialeliste Hallandshus.

Bygningsdel	Vægt [kg]
<b>Tagkonstruktion - Stråtag m. Sepatec</b>	<b><u>17.885</u></b>
-----	
<b>271 - Tagkonstruktion</b>	<b>9.423,08</b>
Dampspærre (PE)	36,93
Indendørsmaling	36,93
Beslag og skruer	110,78
Cembrit Windstopper 12mm	2.880,38
Mineraluld Rockwool 279mm	1.287,86
Filt, glasfiber	23,08
Trækonstruktion	2.757,57
Gipskartonplade 13mm	1846,40
Forskalling	443,14
<b>472 - Stråtag Sepatec</b>	<b>8.461,68</b>
Tagrør	8.234,91
Sepatec	132,00
Skruer, stål	23,69
Lister, stål	71,08

Tabel 2 - Tagkonstruktion stråtag Sepatec brandsikret.

Bygningsdel	Vægt [kg]
<b>Tagkonstruktion - Stråtag m. rupløjede brædder</b>	<b><u>19.197</u></b>
-----	
<b>271 - Tagkonstruktion</b>	<b>10.938,42</b>
Dampspærre (PE)	36,93
Indendørsmaling	36,93
Beslag og skruer	110,78
Cembrit Windstopper 12mm	2.880,38
Mineraluld Rockwool 206mm	950,90
Filt, glasfiber	23,08
Trækonstruktion	2.757,57
Gipskartonplade 13mm	1846,40
Forskalling	443,14
Rupløjede brædder 22mm	1852,31
<b>472 - Stråtag</b>	<b>8.258,60</b>
Tagrør	8.234,91
Skruer, stål	23,69

Tabel 3 - Tagkonstruktion stråtag m. rupløjede brædder.

Bygningsdel	Vægt [kg]
<b>Tagkonstruktion - Betontegl</b>	<b><u>17.923</u></b>
-----	
<b>271 - Tagkonstruktion</b>	<b>9.672,34</b>
Dampspærre (PE)	36,93
Indendørsmaling	36,93
Beslag og skruer	110,78
Cembrit Windstopper 12mm	2.880,38
Mineraluld Rockwool 339mm	1.564,82
Filt, glasfiber	23,08
Trækonstruktion	2.757,57
Gipskartonplade 13mm	1846,40
Forskalling	443,14
<b>376 - Fascia</b>	<b>4,37</b>
Vindskede, aluminium	4,37

<b>472 - Betontagsten</b>	<b>8.225,71</b>
Betontegl, IBF	8.225,71
<b>481 - Tagrende</b>	<b>16,92</b>
Tagrende, aluminium	16,92
<b>521 - Nedløbsrør</b>	<b>3,18</b>
Nedløbsrør, aluminium	3,18

Tabel 4 - Tagkonstruktion betontegl.

Bygningsdel	Vægt [kg]
<b>Tagkonstruktion - Tagpap</b>	<b><u>13.177</u></b>
<hr/>	
<b>271 - Tagkonstruktion</b>	<b>11.267,63</b>
Dampspærre (PE)	36,93
Indendørsmaling	36,93
Beslag og skruer	110,78
Cembrit Windstopper 12mm	2.880,38
Mineraluld Rockwool 333mm	1.537,13
Filt, glasfiber	23,08
Trækonstruktion	2.757,57
Gipskartonplade 13mm	1846,40
Forskalling	443,14
Krydsfiner	1.595,29
<b>376 - Fascia</b>	<b>4,37</b>
Vindskede, aluminium	4,37
<b>472 - Tagpap</b>	<b>1.885,17</b>
Tagpap	923,20
Tagpap, underpaplag	961,97
<b>481 - Tagrende</b>	<b>16,92</b>
Tagrende, aluminium	16,92
<b>521 - Nedløbsrør</b>	<b>3,18</b>
Nedløbsrør, aluminium	3,18

Tabel 5 - Tagkonstruktion Tagpap.

## 6.1.1 Drift

Driften af typehuset er ikke medregnet i analysen, da det ikke har relevans med henblik på sammenligningen af tagkonstruktioner. Da alle tagkonstruktioner har den samme isole-ringsevne, vil resultatet for de forskellige opbygninger være ens.

## 6.1.2 Levetid og EOL

Bygningsdel	Levetid [år]	Ref. flow [Faktor]	EOL [Modulfase]	Kildehenvisning
<b>121- Linjefundament</b>				
Termoblok - vanger	60	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Termoblok - isolering	60	1	C4	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Armeringsstål	120	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Beton	120	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>131 - Terrændæk</b>				
Beton	100	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Armeringsstål	100	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Kapillarbrydende lag (Singels 2-15 mm)	100	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
EPS - Jackon	100	1	C3	<a href="http://jackson.dk">Jackson.dk</a>
<b>214 - Ydervægge, trækonstruktion</b>				
Dampspærre (PE)	80	1	C4	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Mineraluld Rockwool 300mm	80	1	C4	<a href="http://rockwool.dk">Rockwool.dk</a>
Cembrit Windstopper 9mm	80	1	C3	<a href="http://cembrit.com">Cembrit.com</a>
Trækonstruktion	120	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Beslag og skruer	120	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Gipskartonplade 13mm	60	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>224 - Indervægge, træskellet</b>				
Beslag og skruer	100	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Krydsfiner 4x 12mm	60	1	C3	<a href="http://traeinfo.dk">Træinfo.dk</a>
Gipskartonplade 2x 13mm	60	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Trækonstruktion	100	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>233 - Etagedæk</b>				
Dampspærre (PE)	60	1	C4	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Indendørsmaling	16	3	C4	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Beslag og skruer	80	1	C3	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Krydsfiner 18mm	80	1	C3	<a href="http://traeinfo.dk">Træinfo.dk</a>
Mineraluld Rockwool 190mm	80	1	C4	<a href="http://rockwool.dk">Rockwool.dk</a>
Filt, glasfiber	32	2	C4	<a href="http://okobaudat.de">Ökobaudat.de</a>

Trækonstruktion	80	1	C3	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
EPS Sundolitt	60	1	C3	<a href="http://Sundolitt.com">Sundolitt.com</a>
Gulvvarmerør Rifeng	60	1	C4	<a href="http://Environdec.com">Environdec.com</a>
Gipskartonplade 2x 13mm	60	1	C3	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>311 - Hoveddør</b>				
Dør, udvendig	50	1	C3	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>312 - Vinduer - Træ/alu</b>				
Aluminiumsramme	25	2	C3	<a href="http://Alu - Ökobaudat.de">Alu - Ökobaudat.de</a>
Træramme	25	2	C3	<a href="http://Træ - Ökobaudat.de">Træ - Ökobaudat.de</a>
3-lags glasruder	25	2	C3	<a href="http://Glas - Ökobaudat.de">Glas - Ökobaudat.de</a>
<b>315 - Vandbræt, fyrtræ</b>				
Fyrtræ 22x120mm	50	1	C3	<a href="http://Træinfo.dk">Træinfo.dk</a>
<b>321 - Indvendige døre</b>				
Indvendige trædøre Daloc	50	1	C3	<a href="http://Daloc.se">Daloc.se</a>
<b>413 - Fyrtræsbeklædning</b>				
Beslag og skruer	80	1	C3	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Fyrtræ 22mm	50	1	C3	<a href="http://Træinfo.dk">Træinfo.dk</a>
Trækonstruktion	80	1	C3	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>421 - Indervægge malerbehandlinger</b>				
Indendørsmaaling	8	7	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Filt, glasfiber	16	4	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>422 - Vægfliser, vådzone</b>				
Keramikfliser, glaseret	30	2	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Mørtel, muremørtel, Fliseklæber	30	2	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>432 - Gulv, fliser</b>				
Keramikfliser, glaseret	30	2	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Mørtel, fliseklæber	30	2	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>433 - Gulv, trælaminat</b>				
Trælaminat 13mm	30	2	C3	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Lydmåtte 2,5mm Adfors	60	1	C4	<a href="http://Saint-Gobain.dk">Saint-Gobain.dk</a>

Tabel 6 - Hallandshus levetidstabel, referenceflow med henblik på udskiftninger, samt EOL-håndtering og kildehenvisning til EPD'er.

Bygningsdel	Levetid [år]	Ref. flow [Faktor]	EOL [Modulfase]	Kildehenvisning
<b>271 - Tagkonstruktion</b>				
Dampspærre (PE)	60	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Indendørsmaling	16	3	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Beslag og skruer	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Cembrit Windstopper 12mm	80	1	C3	<a href="http://Cembrit.com">Cembrit.com</a>
Mineraluld Rockwool 279mm	80	1	C4	<a href="http://Rockwool.dk">Rockwool.dk</a>
Filt, glasfiber	32	2	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Trækonstruktion	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Gipskartonplade 13mm	60	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Forskalling	80	1	C3	<a href="http://Traeinfo.dk">Traeinfo.dk</a>
<b>472 - Stråtag Sepatec</b>				
Tagrør	50	1	C4	<a href="http://Straatagetskontor.dk">Straatagetskontor.dk</a>
Sepatec	50	1	C4	
Skruer, stål	50	1	C4	
Lister, stål	50	1	C4	

Tabel 7 - Tagkonstruktion stråtag med Sepatec brandsikring levetidstabel, referenceflow med henblik på udskiftninger, samt EOL-håndtering og kildehenvisning til EPD'er.

Bygningsdel	Levetid [år]	Ref. flow [Faktor]	EOL [Modulfase]	Kildehenvisning
<b>271 - Tagkonstruktion</b>				
Dampspærre (PE)	60	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Indendørsmaling	16	3	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Beslag og skruer	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Cembrit Windstopper 12mm	80	1	C3	<a href="http://Cembrit.com">Cembrit.com</a>
Mineraluld Rockwool 279mm	80	1	C4	<a href="http://Rockwool.dk">Rockwool.dk</a>
Filt, glasfiber	32	2	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Trækonstruktion	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Gipskartonplade 13mm	60	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Forskalling	80	1	C3	<a href="http://Traeinfo.dk">Traeinfo.dk</a>
Rupløjede brædder 22mm	80	1	C3	<a href="http://Traeinfo.dk">Traeinfo.dk</a>
<b>472 - Stråtag</b>				
Tagrør	50	1	C4	<a href="http://Straatagetskontor.dk">Straatagetskontor.dk</a>
Skruer, stål	50	1	C4	

Tabel 8 - Tagkonstruktion stråtag med rupløjede brædder levetidstabel, referenceflow med henblik på udskiftninger, samt EOL-håndtering og kildehenvisning til EPD'er.

Bygningsdel	Levetid [år]	Ref. flow [Faktor]	EOL [Modulfase]	Kildehenvisning
<b>271 - Tagkonstruktion</b>				
Dampspærre (PE)	60	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Indendørsmaling	16	3	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Beslag og skruer	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Cembrit Windstopper 12mm	80	1	C3	<a href="http://Cembrit.com">Cembrit.com</a>
Mineraluld Rockwool 339mm	80	1	C4	<a href="http://Rockwool.dk">Rockwool.dk</a>
Filt, glasfiber	32	2	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Trækonstruktion	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Gipskartonplade 13mm	60	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Forskalling	80	1	C3	<a href="http://Traeinfo.dk">Traeinfo.dk</a>
<b>376 - Fascia, aluminium</b>				
Aluminiumsprofil	50	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
<b>472 - Betontagsten</b>				
Betontegl, IBF	60	1	C3	IBF - Se bilag 9.3
<b>481 - Tagrende aluminium</b>				
Aluminiumsprofil	50	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
<b>521 - Nedløbsrør aluminium</b>				
Aluminiumsprofil	50	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>

Tabel 9 - Tagkonstruktion betontegl levetidstabel, referenceflow med henblik på udskiftninger, samt EOL-håndtering og kildehenvisning til EPD'er.

Bygningsdel	Levetid [år]	Ref. flow [Faktor]	EOL [Modulfase]	Kildehenvisning
<b>271 - Tagkonstruktion</b>				
Dampspærre (PE)	60	1	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Indendørsmaling	16	3	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Beslag og skruer	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Cembrit Windstopper 12mm	80	1	C3	<a href="http://Cembrit.com">Cembrit.com</a>
Mineraluld Rockwool 333mm	80	1	C4	<a href="http://Rockwool.dk">Rockwool.dk</a>
Filt, glasfiber	32	2	C4	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Trækonstruktion	80	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Gipskartonplade 13mm	60	1	C3	<a href="http://Okobaudat.de">Okobaudat.de</a>
Forskalling	80	1	C3	<a href="http://Traeinfo.dk">Traeinfo.dk</a>
Krydsfiner 18mm	50	1	C3	<a href="http://Traeinfo.dk">Traeinfo.dk</a>
<b>376 - Fascia, aluminium</b>				

Aluminiumsprofil	50	1	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>472 - Tagpap</b>				
Tagpap	50	1	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
Tagpap, underpaplag	50	1	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>481 - Tagrende aluminium</b>				
Aluminiumsprofil	50	1	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>
<b>521 - Nedløbsrør aluminium</b>				
Aluminiumsprofil	50	1	C4	<a href="http://Ökobaudat.de">Ökobaudat.de</a>

**Tabel 10 – Tagkonstruktion tagpap levetidstabel, referenceflow med henblik på udskiftninger, samt EOL-håndtering og kildehenvisning til EPD'er.**

I ovenstående tabeller, ses der hver enkelt komponents levetid og referenceflow i forbindelse med modelleringen i LCAByg. LCAByg indregner selv en grænse i betragtningsperioden, hvor der ikke vil laves udskiftninger af materialer. I en betragtningsperiode på 50 år, ligger denne grænseværdi ved 40 år.

End of life (EOL) for materialer er opbygget ud fra givne EPD'er og generisk data i LCAByg. Det vil sige, der kan forekomme variation i håndteringen af materialers EOL. Denne opbygning tager udgangspunkt i, at de materialer med "calorific value" vil blive forbrændt i deres affaldshåndtering. Mineralske materialer vil i højere grad blive deponeret eller i nogle tilfælde genbrugt.

Stråtagetets EPD, er en samlet EPD for en kvadratmeter tagdækning. Dette inkluderer tagrør, Sepatec glasfiberdug, skruer og stållister. Efter dialog med Straatagetets Kontor, er der opbygget en yderlig stråtagskonstruktion med rupløjede brædder, hvor der hertil kun benyttes tagrør og skruer. Denne konstruktionsopbygning har også en anden varmeledningsevne<sup>16</sup>, hvilket der kan ses udregninger for i bilag 9.4. Der er benyttet de datasæt som selve stråtags EPD'en er opbygget af, til at regne baglæns, for at finde påvirkningen af denne anderledes opbygning af stråtag (se links i referencer, afsnit 10). De benyttede miljøpåvirkninger for denne opbygning er at finde i bilag 9.2.

I og med at tagrørene er et naturligt materiale, er der også medregnet i EPD'en at det organiske materiale hen over levetiden vil nedbrydes. Der er i EPD'en estimeret af 50% af tagrørene vil nedbrydes<sup>17</sup>, dette medfører også en forværret isoleringsevne. Der er dog taget forbehold for dette i varmeledningsrapporten (se link i afsnit 10), hvor de har testet ældre stråtage, for at se hvordan varmeledningen ændres gennem levetiden. Der er også andre parametre, såsom vind og fugtindhold der kan have en indflydelse på isoleringsevnen, hvilket også er med i rapporten.

Nedbrydningen betyder også at der er mindre organisk materiale, som der i EOL-fasen vil blive sendt til forbrændingen. Her er der i EPD'en ligeledes moduleret at kun halvdelen af tagrørene bliver forbrændt, hvor energi udvindes og CO<sub>2</sub> tilskrives. De 50% af materialet som nedbrydes, er der også taget forbehold for i EPD'en, med henblik på at det også vil have en miljømæssig påvirkning at det dekomponerer.

<sup>16</sup> Varmeledningsevne stråtag, 2020, Straatagetets kontor i samarbejde med Teknologisk Institut, s. 35.

<sup>17</sup> LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut, s. 23.



## 6.2 Dataindsamling (validering)

Datagrundlaget for denne livscyklusvurdering bygger hovedsageligt på udleveret tegningsmateriale af Trelleborgs 1,5-plans Hallandshus. Tegningsmaterialet angiver mængder af materialer af alle bygningsdele. Det eneste parameter som der ændres på, er varierende af tagopbygninger. Her er det tilvalgt at bibeholde konstruktionen fra Hallandshuset med en taghældning på 48 grader. Dette er valgt med henblik på at få bedst sammenlignelighed i undersøgelsen. Derudover er der valgt at gå med isoleringsfaktoren som en konstant på 0,1 W/m<sup>2</sup>K, hvor det er materialemængder med henblik på isoleringsevnen der er variabelen. For alle bygningsdele som er modelleret i LCAbyg på baggrund af eksterne EPD'er, vil disse EPD'er være at finde i links i Tabel 6-10 som dokumentation. De resterende bygningsdele er opbygget ud fra databasen integreret i LCAbyg 3.2.0.4, som er opbygget af den tyske database Ökobau.dat.

Der vil i næste afsnit 6.3 kommenteres, hvorvidt der er foretaget estimeringer i forbindelse med modelleringen. Der er i enkelte tilfælde lavet estimater, i og med der ikke har været data som belæg, dette bidrager også til en større usikkerhed.

## 6.3 Usikkerhedsanalyse

I dette afsnit vil de forskellige konstruktionsopbygninger blive beskrevet angående usikkerhed af data, med henblik på deres og de inkluderede produkters modellering i LCAbyg. Usikkerheden af data vil blive foretaget og bearbejdet af udøveren for LCA'en. Der er opstillet nogle kriterier på baggrund af modelleringen og viden herom fra udøveren, med henblik på at skabe en så gennemsigtig usikkerhedsanalyse som muligt.

Al data for livscyklusvurderingen er lavet på baggrund af EPD'er som datakilde. Det skal nævnes, at der altid vil være en usikkerhed forbundet med EPD'er, da de kan være udført med forskellige vilkår og krav.

Med henblik på usikkerheden, er der bygget et pointsystem op, hvor de enkelte modelleringer vil starter med en score på 0 point. Hertil tillægges der point ud fra forskellige kriterier, som gør data mere sikker:

$$\begin{aligned} & \text{Produktspecifikke EPD'er} = +2 \\ & \text{Produktrelaterede EPD'er} = +1 \\ & \text{Nøjagtige mængder (ingen estimeringer)} = +1 \\ & \text{Lav kompleksitet af modellering} = +1 \end{aligned}$$

Konsensus for pointgivningen er hvis størstedelen af modelleringen opfylder kravet, vil den få godkendt pågældende faktorer og tilegnes de respektive point, som er indikeret ovenfor.

Nøjagtige mængder har de fleste bygningsdele, dog er der enkelte bygningsdele, som har estimater i forbindelse med mængder i modelleringen. Disse bygningsdele vil dermed ikke få et point for denne faktor.

Lav kompleksitet gives til de modellerede opbygninger, som har fem eller færre komponenter /faktorer i forbindelse med modelleringen i livscyklusvurderingen.

Pointscoren går fra 0-4 point, da der enten kan blive givet point for produktspecifikke eller produktrelaterede EPD'er.

## Trelleborg 1,5-plans Hallandshus (2/4)

Hallandshuset uden sin tagkonstruktion, er klart det mest komplekse modelleret i livscyklusvurderingen. Der er rigtig mange bygningsdele og -varer involveret. Mængderne af huset er foretaget meget nøjagtigt efter tegningsmaterialet, som gør at der ikke er foretaget estimeringer. Størstedelen af alle byggevarerne er lavet med generisk data, som det også er indikeret i tabel 6, hvor der er links til alle EPD'er brugt til modelleringen.

## Stråtagskonstruktion m. Sepatec brandsikring (3/4)

Denne stråtagskonstruktion er hovedsageligt opbygget på baggrund af EPD'en vedrørende stråtage fra Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut, 2017. EPD'en er modelleret for 1 m<sup>2</sup> stråtagsdækning, med lister, skruer og brandhæmmende glasfiberdug. Den underliggende tagkonstruktion bygger på tegningsmaterialet fra Hallandshuset. Her er der lavet nogle estimeringer med henblik på tagkonstruktionen, og den måde den er bygget op med isoleringsmængde. Estimeringerne er meget tilnærmelsesvis ens med tegningsmaterialet. Der er foretaget en jævn mængde isoleringsmateriale i tagkonstruktionen, i stedet for en lille ekstra mængde i tagets skunke. Denne estimering er ens for alle tagkonstruktionerne, med tanke på at gøre sammenligningerne retvisende og objektive. Denne faktor er selvfølgelig kun en usikkerhed med henblik på typehuset som helhed, men ikke noget der har relevans i forhold til sammenligningen af en kvadratmeter tagkonstruktion.

Der er lavet forbehold for bæreevnen af tagkonstruktionen, hvor det er antaget at alle de sammenlignede tagkonstruktioner, skal have samme styrke. Det betyder at i forbindelse med allokeringen af isoleringsevnen, kun tages forbehold for mængden af isoleringsmateriale. Det vil sige, at det kun er mineraluldet, som er en variabel for udregningerne.

Tagkonstruktionerne er ikke så komplekse bygningsdele, med deres maksimalt fem komponenter, samtidig er tagkonstruktionerne også i høj grad opbygget ens. Det medfører at de også vil tilegnes et point for lav kompleksitet.

## Stråtagskonstruktion m. rupløjede brædder (2/4)

Stråtagskonstruktionen med de rupløjede brædder som brandhæmmende lag, er modelleret meget ligesom ovenstående løsningen med Sepatec. Konstruktionen får dog kun point som værende produktrelateret EPD, da der er foretaget beregninger af den specifikke EPD om stråtage. Her er der regnet tilbage, med henblik på at denne tagdækning ikke vil have en glasfiberdug og stållister. Der er i udregningerne også taget forbehold for den mængde transport, der er involveret med disse to byggevarer. Det sidste point denne modellering tilegnes, er for dens lave kompleksitet.

## Betontegl tagkonstruktion (3/4)

Der er benyttet en produktspecifik EPD af betontegl fra IBF, hvilket medfører til en mindre usikkerhed af data for modelleringen af denne bygningsdel. Der er foretaget estimeringer angående beregninger af tagkonstruktionen, dog er det modelleret tilnærmelsesvis tegningsmaterialet af Trelleborgs Hallandshus (se forklaring af usikkerheden af stråtagskonstruktion m. Sepatec). I denne tagopbygning er der inkluderet, vindsleder, tagrender og nedløbsrør. Her er mængden for disse modelleret ud fra Hallandshuset som eksempel. Det har medført, at mængden af disse aluminiumskomponenter er allokeret med henblik på areal og med m<sup>2</sup> tagdækning som enhed. Dvs. mængden af disse komponenter fra Hallandshuset, er skaleret fra et tagdækningsareal på 184,64 m<sup>2</sup> til 1 m<sup>2</sup>. Denne udregning medfører en usikkerhed af data, hvor usikkerheden specielt gør sig gældende i sammenlignelighed af forskellige byggerier af varierende størrelser. Tabel 4 indikerer at aluminiumskomponenter udgør en meget lille andel af bygningsdelen, hvilket medfører at usikkerheden er mindre følsom.

## Tagpap tagkonstruktion (2/4)

Denne tagkonstruktion har lav kompleksitet med sine fem bygningsdele. Der er benyttet generisk data, så det er produktrelaterede EPD'er. I denne tagopbygning er der inkluderet, vindskeder, tagrender og nedløbsrør. Her er mængden for disse modelleret ud fra Hallandshuset som eksempel. Det har medført, at mængden af disse aluminiumskomponenter er allokeret med henblik på areal og med m<sup>2</sup> tagdækning som enhed. Dvs. mængden af disse komponenter fra Hallandshuset, er skaleret fra et tagdækningsareal på 184,64 m<sup>2</sup> til 1 m<sup>2</sup>. Denne udregning medfører en usikkerhed af data, hvor usikkerheden specielt gør sig gældende i sammenlignelighed af forskellige byggerier af varierende størrelser. Tabel 5 antyder dog, at der er at gøre med meget små mængder af disse aluminiumskomponenter i forhold til bygningsdelen.

## Transport af tagrør (4/4)

Transporten for tagrør er foretaget med en meget lille usikkerhed. Dette skyldes at det er en modellering af meget lav kompleksitet. Der benyttes kun to datasæt vedrørende transport som er produktspecifikke; transport med lastbil og transport med containerskib. Ikke mindst er der i EPD'en for stråtaget (*LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut*), opgivet nøjagtige mængder med henblik på transport fra forskellige leverandører.

## 6.4 Følsomhedsanalyse

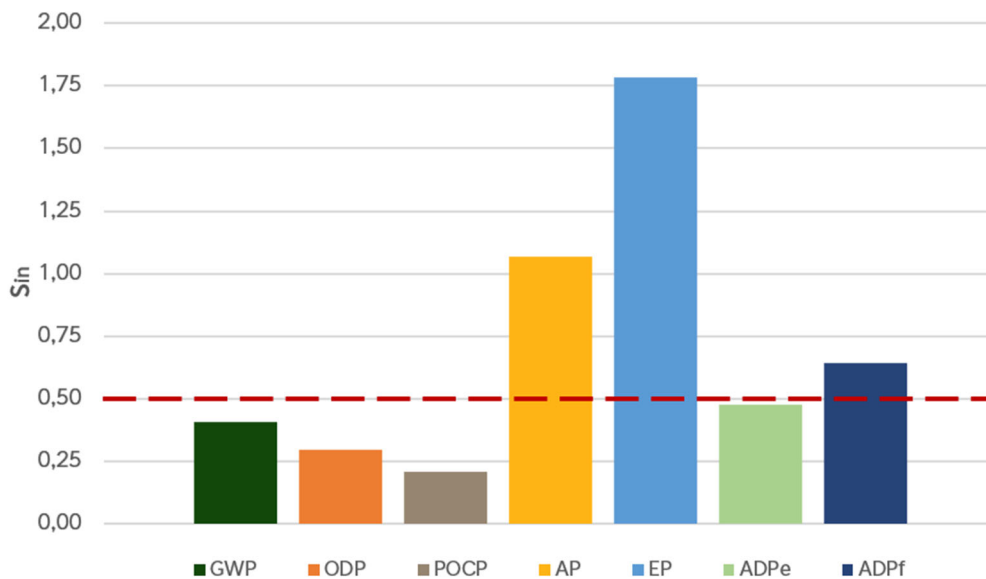
I dette afsnit vil der foretages to følsomhedsanalyser (sensitivitetsanalyse) af hvilken effekt levetiden af materialer i forbindelse med Trelleborgs Hallandshus og en stråtagskonstruktion. Der vil testes for hvilken indflydelse det har, hvis betragtningsperioden (levetiden) øges til 80 år, i stedet for de nuværende 50 år. Denne forøgelse af levetiden med 30 år, svarer til 60%.

Følsomhedsanalysen vil blive lavet ud fra følgende formler:

$$* S_{in} = (\Delta output / output) / (\Delta input n / input n)$$

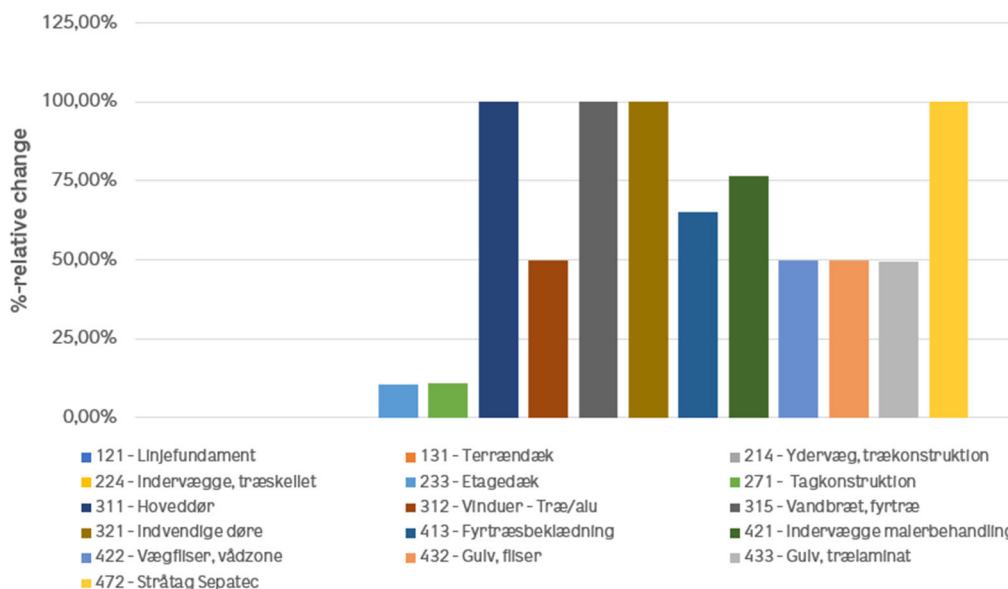
$$** \%relative\ change = \frac{IS_{scenario} - IS_{base\ case}}{IS_{base\ case}} * 100\%$$

I første omgang benyttes den første formel (\*) til at finde den relative sensitivitetskoefficient "S<sub>in</sub>". Denne koefficient bruges som indikator for om noget er sensitivt i analysen, når inputtet ændres. Her anses det at for at S<sub>in</sub> > 0,3 er moderat sensitiv og hvis S<sub>in</sub> > 0,5 er der stor følsomhed. Hvis S<sub>in</sub> = 1, indikerer det at der er 1:1 sammenhæng mellem input og output. Dette er eksempelvis, hvis der er forøges 10% i input, at det så gælder at output også forøges med 10%. Der vil foretages to følsomhedsanalyser. Der vil i den ene benyttes summen af alle miljøpåvirkninger for Trelleborg typehuset med et stråtag der er Sepatec brandsikret. I den anden analyse bruges resultater for GWP, og det er karakteriserede resultater for bygningsdelenes faser samlet (sum) af samme konstruktionsopbygning som den første analyse.



**Figur 4 - Følsomhedsanalyse af levetidens indflydelse på miljøpåvirkningerne for hele bygning. Grænseværdi på 0,5, værdier over denne værdi anses som værende følsom.**

Ovenstående figur viser at der er tre miljøpåvirkninger som er meget følsom overfor en 30 år længere levetid, AP, EP og ADPf. Den miljøpåvirkning som er mest følsom, er EP hvilket har en positiv effekt, da stråtaget har en negativ miljøpåvirkning i denne kategori. Dermed vil der i forbindelse med en længere levetid, hvor stråtaget udskiftes benyttes flere tagrør som derved har en gavnlig effekt på miljøet med henblik på " Eutrophication Potential" (se evt. figur 9 i afsnit 7.2). GWP og ADPe er også moderat følsomme.



**Figur 5 - Følsomhedsanalyse af levetidens indflydelse på GWP for bygningsdelene.**

I ovenstående figur 7 kan den procentvise relative ændring for en 30 års længere levetid af bygningsdelene ses. Det er tydeligt at de bærende elementer i byggeriet ikke bliver påvirket af en 30 års længere levetid, da de ikke vil blive skiftet ud indenfor en betragtningsperiode på 80 år. Her er det i højere grad de materialer som skal udskiftes, der er følsomme. Specielt de

bygningsdele som ikke vil blive udskiftet i en betragtningsperiode på 50 år, men skal hvis betragtningsperioden øges til 80 år, har en stor følsomhed, da der lige pludseligt vil ske en fordobling af brugen af materialerne for disse bygningsdele. Dette er f.eks. hoveddøre, indvendige døre, vandbræt og stråtaget, hvor alle disse bygningsdele dermed får en procentvis relativ ændring på 100%. Dog vil det samme resultat opnås med de konkurrerende og sammenlignede tagdækninger, da betontegl og tagpap har en levetid på henholdsvis 60 og 50 år.

Hvis man vælger at se på en levetid/betragtningsperiode for DGNB's andet referencetal på 120 år, vil der være en større følsomhed for både stråtag og tagpap i forhold til betontegl. Det skyldes at der ved denne betragtningstid, vil foretages to udskiftninger af stråtag og tagpap, imens betontegl i samme periode kun vil udskiftes en gang.

Dette har selvfølgelig en indflydelse på resultaterne for tagdækningernes miljøpåvirkning. Hvis der tages udgangspunkt i resultaterne fra afsnit 7.2, figur 10, kan det ses at selvom der vil foretages flere udskiftninger af stråtaget, vil det stadig have en mindre miljøpåvirkning GWP end betontegl. En ændring af betragtningsperioden fra 50 til 120 år vil have størst påvirkning på GWP-sammenligningen mellem tagpap og betontegl, her vil det skifte hvilken tagdækning som er favorabel miljømæssigt.

## 7 Life Cycle Impact Assessment (Miljøpåvirkninger)

### 7.1 Midpoints

Når man i en LCIA omtaler resultater i "*midpoints*", så er hver miljøpåvirkning opdelt i sin egen kategori. Afhængig af hvilket LCA-værktøj som benyttes til udregningerne, opgives der forskellige midpoints-kategorier. LCAByg er opbygget af ni miljøpåvirkningskategorier, disse ni kan ses i afsnit 7.1.1, hvor der er også en kort beskrivelse af dem.

Udover midpoints indgår der også i nogle livscyklusvurderinger "*endpoints*". Endpoints er kun opdelt i tre kategorier: menneskers sundhed, det naturlige miljø og ressourcer.

Disse tre kategorier tager udgangspunkt i resultaterne i midpoints, dog er det forskelligt for midpoints-kategorierne hvilke/hvilken endpoint-kategori de påvirker og i hvilken grad påvirkningen har, da miljøpåvirkningerne er vægtede i endpoints.

Menneskers sundhed bliver beregnet i enheden DALY<sup>18</sup>, hvilket er påvirkningen på levetid og levekvalitet opgivet i år. Altså medvirker miljøpåvirkningerne fra et produkt til en reducere af menneskers liv.

Det naturlige miljø bliver beregnet i enheden PAF<sup>19</sup> eller PDF<sup>20</sup> som er arter påvirkede eller arter mistet. Denne kategori er meget lignende den med menneskers sundhed, her tages der blot udgangspunkt i økosystemet med dyr og planter.

Sidste kategori for endpoints er ressourcer, hvilket tager udgangspunkt i udtømming af ressourcer på verdensplan. Denne kategori er der ikke nogen fastlagt konsensus angående enhed at beregne det i. De mest benyttede enheder er i energi (MJ) eller monetært (f.eks. USD). I denne rapport er der kun benyttet beregninger med midpoints, da CML 2001-metoden som bruges til analysen, benytter disse miljøpåvirkningskategorier.

LCIA-resultaterne er relative udtryk, som ikke forudsiger påvirkninger på kategori-endpoint, eller overskridelser af tærskelværdier, sikkerhedsmarginer eller risikoniveauer.

---

<sup>18</sup> DALY - Disability-Adjusted Life Years (oversat: sygdomsjusterede leveår)

<sup>19</sup> PAF - Potentially Affected Fraction (oversat: potentielt påvirket art)

<sup>20</sup> PDF - Potentially Disappeared Fraction (oversat: potentielt mistet art)

## 7.1.1 Miljøpåvirkningskategorier

LCAByg anvender CML 2001. LCAByg opdeler miljøpåvirkningerne i følgende ni kategorier, hvilket er begrænset af EPD'erne:

Global warming Potential – Global Opvarmning (GWP):

Er omfattet af drivhusgasser, heriblandt det kemiske stof CO<sub>2</sub>, dette stof bruges som reference for udledning af GWP. GWP er også det, som man omtaler ”carbon footprint” i forbindelse med produkter. GWP bliver regnet i CO<sub>2</sub>-ækvivalens, hvilket vil sige at CO<sub>2</sub> bruges som referencestof og indikator-enhed.

Ozone Depletion Potential - Ozonnedbrydning (ODP):

ODP er nedbrydningspotentialet af ozonlaget. Her er der dermed inkluderet de kemiske forbindelser som har en indvirkning på nedbrydning af ozonlaget. Her regner man ud fra mængden af det kemiske stof freon (R-11) -ækvivalens, som indikatorenhed for nedbrydning af ozonlaget.

Photochemical Ozone Creation Potentials – Fotokemisk Ozondannelse (POCP):

Denne kategori for forurening er en del i dannelsen af fotokemisk smog. Dette kan i høje koncentrationer påvirke både helbred hos mennesker og naturen. Denne miljøpåvirkning har det kemiske stof ethen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) -ækvivalens som indikatorenhed. Denne form for miljøpåvirkning kommer blandt andet meget fra flygtige organiske forbindelser (VOC), som kan forekomme i produktion og afbrænding af plastik, samt maling.

Acidification Potential - Forsuring (AP):

AP er syrer som bliver udledt enten til atmosfæren, som gasser eller i jorden og vand som substans. Denne forsuring kan medføre skader på økosystemet. Denne kategori beregnes i indikatorenheden svovldioxid (SO<sub>2</sub>) -ækvivalenter.

Eutrophication Potential - Næringssaltbelastning (EP):

EP er næringsstoffer som potentielt også kan skade miljøet. Overernæring i jorden kan påvirke vegetationen og i sidste ende resultere i dens død. Dette kan medvirke til ørkendannelse. Overernæring kan også have en modsat effekt, hvor det skaber ramme for optimale forhold for plantevækst, så det udkonkurrerer andre levende organismer. Dette kan for eksempel ske i hav og søer, hvor det kan resultere i algevækst, som kan skade biodiversiteten. EP har fosfat som referencestof og beregnes i fosfat (PO<sub>4</sub>) -ækvivalenter.

Abiotic Depletion Potential, elements – Udtømning grundstoffer (ADPe):

ADPe er ressourceforbrug af naturlige materialer og mineraler. Det inkluderer uorganiske materialer, hvor af der er en begrænset mængde på verdensplan og ved benyttelse af nogle typer for materialer vil der langsomt ske en udtømning af disse ressourcer. Denne kategori måles i ækvivalenter af grundstoffet antimon (Sb), som er referencestof og indikatorenhed.

Abiotic Depletion Potential, fossil resources – Udtømning fossile brændsler (ADPf):

Denne miljøpåvirkningskategori omhandler ressourceforbrug af fossile brændsler. Da der på sigt ikke er uendelige reserver af fossile brændsler, bliver der dokumenteret i denne miljøpåvirkning, hvor meget man benytter i ens produkt. Disse fossile ressourcer beregnes i MJ.










## Primary Energy, non-renewable (PE<sub>nr</sub>):

Dette er den primære energikilde, hvor kilden ikke er baseret på vedvarende energi. Det vil sige at dette kunne være energi produceret ud fra olie og kul. Energien bliver beregnet i kWh. Denne kategori er ikke medtaget i denne LCA, da det er en mere væsentlig faktor i forbindelse af driften af bygninger. Her er der blandt andet fokus på denne miljøpåvirkningskategori i forbindelse med DGNB-certificeringer.

## Primary Energy, renewable (PE<sub>r</sub>):

Dette er hvor energien stammer fra vedvarende energikilder. Dette kunne f.eks. være vindkraft og solenergi. Fremadrettet er det estimeret, at disse energikilder stille og roligt vil aflaste og forhåbentligt udfase de "non-renewable" energikilder, dette er i hvert fald den politiske vedtagne målsætning og derfor medtaget i energiscenariet anvendt i beregningen. Energien bliver beregnet i kWh.

Denne miljøpåvirkningskategori er ligeledes som PE<sub>nr</sub>, ikke medtaget i denne LCA.

<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Global Opvarmning (GWP)</li> <li><b>Enhed</b> CO<sub>2</sub>-ækvivalenter</li> <li><b>Problem</b> Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimaændringer til følge.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Forsuring (AP)</li> <li><b>Enhed</b> SO<sub>2</sub>-ækvivalenter</li> <li><b>Problem</b> Reagerer med vand og falder som "sur regn", der bl.a. medvirker til at nedbryde rodsystemer og udvaske planternes næringsstoffer.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Udtømmning af abiotiske ressourcer – fossile brændsler (ADPF)</li> <li><b>Enhed</b> MJ</li> <li><b>Problem</b> Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømmning af tilgængelig energi i form af fossile brændsler.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Ozonlagsnedbrydning (ODP)</li> <li><b>Enhed</b> Ethen-ækvivalenter</li> <li><b>Problem</b> Nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag som beskytter flora og fauna mod solens skadelige UV-A og UV-B-stråler.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Nærings盐belastning (EP)</li> <li><b>Enhed</b> PO<sub>4</sub>-ækvivalenter</li> <li><b>Problem</b> For høje tilførsler af næringsstoffer fremmer uønsket plantevækst i sarte økosystemer, f.eks. algevækst med fiskedød til følge.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Primærenergiforbrug (PE<sub>tot</sub>)</li> <li><b>Enhed</b> MJ eller kWh</li> <li><b>Problem</b> Et højt forbrug af ressourcer i primærenergi form fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til udtømmning af naturlige ressourcer.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Fotokemisk ozondannelse (POCP)</li> <li><b>Enhed</b> R11-ækvivalenter</li> <li><b>Problem</b> Bidrager i forbindelse med UV-stråler til at danne jordnær ozon (sommersmog) som bl.a. er skadelig for luftvejene.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Udtømmning af abiotiske ressourcer – grundstoffer (ADPe)</li> <li><b>Enhed</b> Sb-ækvivalenter</li> <li><b>Problem</b> Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømmning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller eller mineraler.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kategori</b> Forbrug af sekundære brændsler (Sek)</li> <li><b>Enhed</b> MJ eller kWh</li> <li><b>Problem</b> Sekundære brændsler (f.eks. affald) er i princippet en begrænset ressource, og der for kan et højt forbrug af sekundære brændsler indirekte føre til ressourceknaphed.</li> </ul>	

**Figur 8 – Overblik over miljøpåvirkningskategorier. I denne rapport præsenteres der ikke resultater for primærenergi og sekundære brændsler.**

Kilde: [https://www.innobyg.dk/media/74934/20170127\\_lca-branchevejledning\\_faerdig.pdf](https://www.innobyg.dk/media/74934/20170127_lca-branchevejledning_faerdig.pdf)

### 7.1.2 Karakterisering

Karakteriserede midpoints resultater medfører at hver eneste miljøpåvirkningskategori, har sin egen ækvivalente enhed. Dette betyder eksempelvis at Global Warming Potential (GWP) er CO<sub>2</sub>-ækvivalent. Det betyder at påvirkninger produktet har på GWP, bliver omregnet til kg CO<sub>2</sub>-eq.. Dette gøres ved hjælp af indregnede faktorer i datasættet, som anvendes til beregningen i LCAByg. For eksempel har det kemiske stof metan (CH<sub>4</sub>) en større skadelig effekt, hvad angår GWP, og man regner med at det er ca. 25-28 gange mere skadeligt for et kilo udledt metan end CO<sub>2</sub><sup>21</sup>.

<sup>21</sup> <https://lbst.dk/tvaergaende/klima/landbrugets-drivhusgasudledninger/#c50790>

## 7.1.3 Normalisering

Normalisering af resultater gør det mere sammenligneligt på tværs af miljøpåvirkningskategorier. I stedet for karakteriserede midpoints, hvor hver kategori har sin egen enhed. Er der ved hjælp af normaliseret data taget udgangspunkt i, hvor stor miljøpåvirkningen en enkel person gennemsnitlig har om året indenfor den pågældende miljøpåvirkningskategori. Det vil sige, at man f.eks. tager miljøpåvirkningen, og ser hvor meget det er i forhold til hvad en gennemsnitlige person i verden vil påvirke.

LCAbyg har sin normaliseringsreference fra CML 2001<sup>22</sup>, World 2000. Dette dataset er senest opdateret april 2015. Omregningerne til personækvivalenter er lavet på baggrund af befolkningstal fra 2000 fra data.worldbank.org<sup>23</sup>. Denne omregning er ligeledes foretaget af programmet LCAbyg. Normaliseringsfaktorerne for udvalgte miljøpåvirkninger i denne livscyklusvurdering kan ses i Tabel 11.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Normaliseringsfaktor globalt	Normaliseringsfaktor person
GWP (GWP100, IPCC, 2007)	kg CO <sub>2</sub> -eq. / år	4,22E+13	6,90E+03
ODP (WMO, 2003)	kg R11-eq. / år	2,27E+08	3,71E-02
POCP (Jenkin & Hayman, 1999; Derwent et al., 1998)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq. / år	3,68E+10	6,02E+00
AP (Huijbregts, 1999)	kg SO <sub>2</sub> -eq. / år	2,39E+11	3,91E+01
EP (Heijungs et al., 1992)	kg PO <sub>4</sub> -eq. / år	1,58E+11	2,58E+01
ADPe (Oers et al., 2002)	kg Sb-eq. / år	3,61E+08	5,90E-02
Adpf (Oers et al., 2002)	MJ / år	3,80E+14	6,21E+04

**Tabel 11 – CML 2001 normaliseringsfaktorer.**

Normaliseringsfaktorer for alle udvalgte miljøpåvirkningskategorier, med kildehenvisning til databearbejdning. Faktor globalt er er opgivet ud fra Leiden Universitets egen data (se fodnote 22). Faktor for person er den globale faktor fordelt ud på population globalt i år 2000 (se fodnote 23).

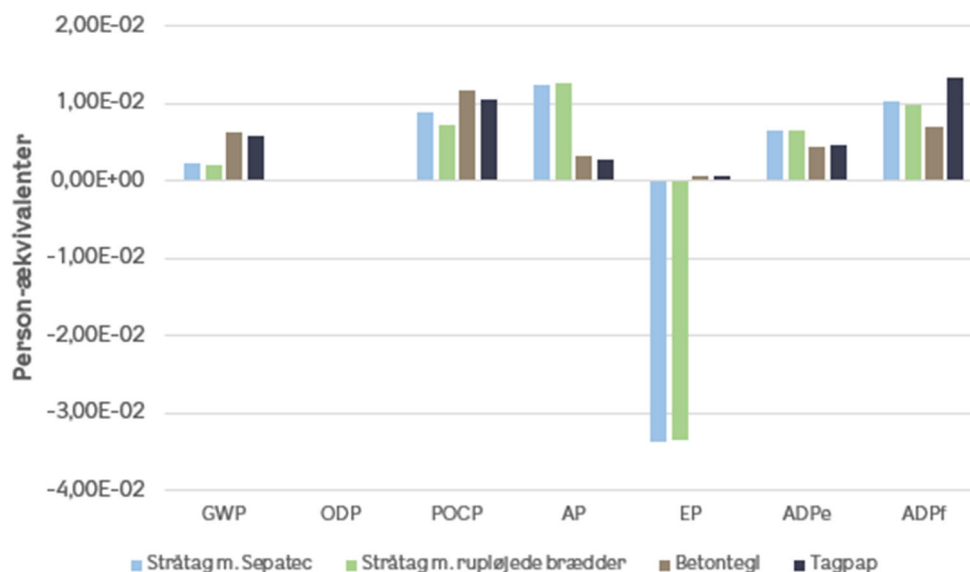
<sup>22</sup> <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>

<sup>23</sup> [https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2018&name\\_desc=false&start=2000&view=chart](https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2018&name_desc=false&start=2000&view=chart)



## 7.2 Hotspot-analyse - Tagdækning og -konstruktion

I dette afsnit med hotspot-analyse, vil der tages stilling til hvilken tagdækning, med dens underliggende tagkonstruktion, som har de mindste miljøpåvirkninger på tværs af alle miljøpåvirkningskategorier. Derudover vil der også ses på tagopbygningernes GWP-aftryk.



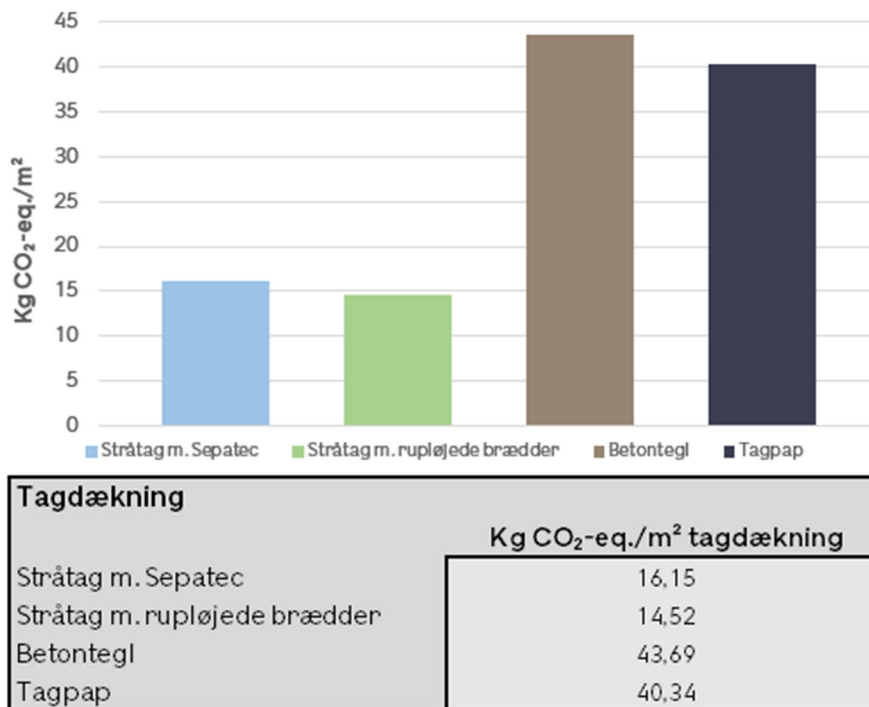
Figur 9 - 1 m<sup>2</sup> tagkonstruktion sammenligning af miljøpåvirkninger (FU (1)), normaliserede resultater

Hotspottet over miljøpåvirkningskategorierne i figur 9 viser at stråtagskonstruktionerne performer godt i miljøpåvirkningskategorierne GWP og EP. Der er endda et negativt miljøaftryk i Eutrophication Potential, hvilket vil sige at det bidrager positivt til miljøet. Dette skyldes tagrørens levetid, hvor de som en sumplante optager store mængder næringsstoffer, hvilket mindsker algevækst i vandløb og søer. Udover næringsstoffer optager tagrør også CO<sub>2</sub> og binder det i biomassen.

Stråtagskonstruktionerne har dog lidt større miljøpåvirkninger i forbindelse med AP, ADPe og ADPf. Dette kunne skyldes blandt andet, den relative store mængde transport der er i EPD'en af tagrørene, hvor størstedelen af tagrørene stammer fra Kina (53,7%<sup>24</sup>). Miljøpåvirkningen af transport af tagrør vil undersøges yderligere i en hotspot-analyse i afsnit 7.4.

Den miljøpåvirkningskategori der er størst forskel på af de to løsninger med tagrør, er POCP, hvor de rupløjede brædder performer bedst. Denne løsning har en miljøpåvirkning der er 19,9% mindre end løsningen med Sepatec brandsikring.

<sup>24</sup> LCA of thatched roof, 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut, s. 13.



Figur 10 - 1 m<sup>2</sup> tagkonstruktion GWP (FU (1)), karakteriserede resultater.

Ovenstående figur 10 viser carbon footprint af de undersøgte tagkonstruktioner, hvor der er taget udgangspunkt i 1 m<sup>2</sup> tagdækning. Figuren viser tydeligt hvor miljøvenlig en løsning med stråtage er i forhold til de sammenlignede konstruktionsopbygninger med betontegl og tagpap. Der er i analysen taget udgangspunkt i den første funktionelle enhed i afsnit 5.2.1, hvor der allokeres med henblik på at opnå samme isoleringsevne. Hertil kan de benyttede U-værdi's beregninger ses i bilag 9.4. Beregningerne af mængder af foretaget på baggrund af tegningsmaterialet fra Trelleborg Hallandshus med en taghældning på 48 grader, dog er der justeret på mængden af mineraluld, for at opnå en isoleringsevne på 0,1 W/m<sup>2</sup>K. Der er ikke foretaget ændringer af selve den bærende konstruktion, da der i undersøgelsen er antaget at konstruktionen for de forskellige tagdækninger, skal kunne holde til den samme belastning. Der er en meget lille forskel på miljøpåvirkningerne af de to stråtagsopbygningerne. Den ene løsning, hvor stråtagskonstruktionen er brandsikret med en Sepatec glasfiberdug, har en lidt større GWP-miljøpåvirkning. Dog er differensen mellem de to stråtagskonstruktioner på 1,63 kg CO<sub>2</sub>-eq. /m<sup>2</sup>, hvilket er intet i forhold til de andre konkurrerende tagdækninger med betontegl og tagpap. De har henholdsvis 27,54 kg CO<sub>2</sub>-eq. /m<sup>2</sup> og 24,19 kg CO<sub>2</sub>-eq. /m<sup>2</sup> større GWP-miljøpåvirkning end stråtagetsløsningen med Sepatec brandsikring. Det svarer til at de har et carbon footprint som er 171% større for betontegl og 150% større for tagpap end stråtaget m. Sepatec. Dette understreger, hvor bæredygtig en løsning stråtaget er, i forhold til konkurrerende produkter på markedet.

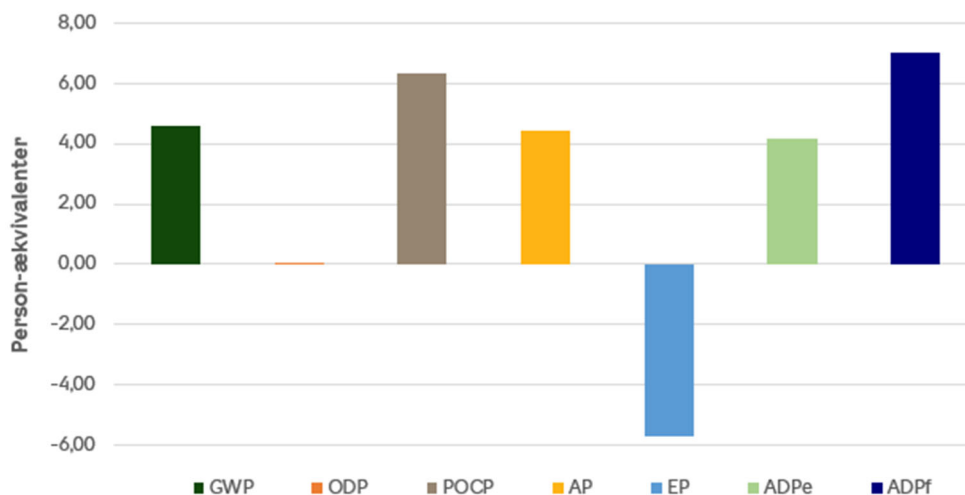
## 7.3 Hotspot-analyse – Trelleborg Hallandshus med stråtag

Efter forrige afsnits redegørelse af stråtagets miljøpåvirkning, hvor det blandt andet i forbindelse med GWP, har vist sig at være en yderst kompetent og bæredygtig løsning. Vil der i dette afsnit laves hotspots over miljøpåvirkningerne for Trelleborg Hallandshus med et Sepatec brandsikret stråtagskonstruktion. Der vil tages udgangspunkt i den anden funktionelle enhed, som er indikeret i afsnit 5.2.1.

Der vil i dette afsnit ses nærmere på typehusets miljøpåvirkninger på tværs af alle miljøpåvirkningskategorier. Derudover vil der også kigges på GWP-aftrykket, i de forskellige faser forbundet med typehuset.

Ikke mindst vil der laves hotspots for bygningsdele og byggevarer (materialer), som fremhæver de største CO<sub>2</sub>-aftryk.

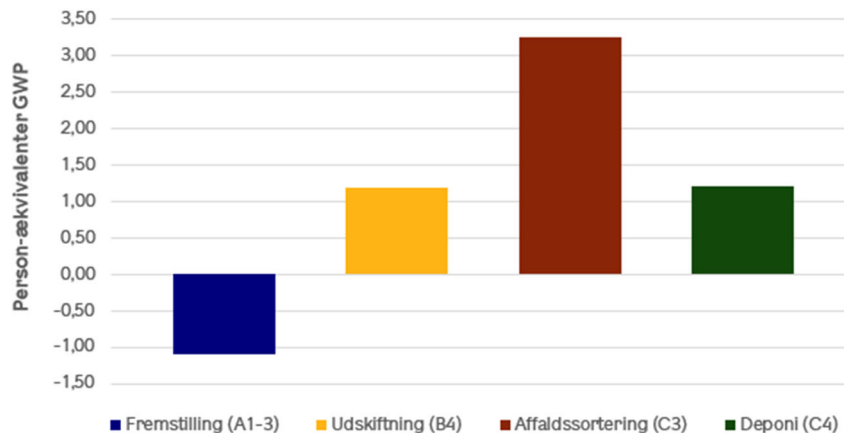
For byggevarerne vil der også foretages en sammenligning af produktionsfaserne (A1-3) og de totale miljøomkostninger for bygningen.



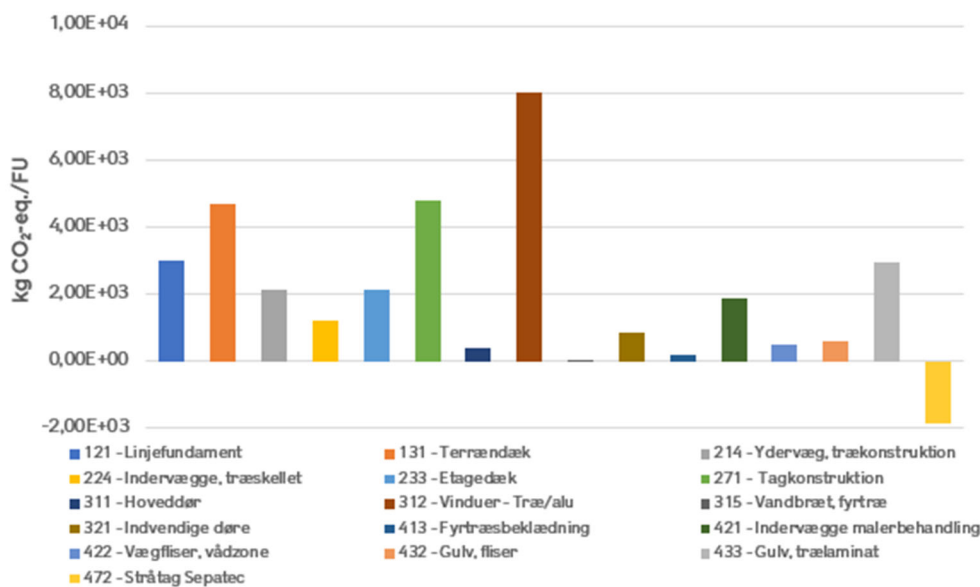
**Figur 11 – Miljøpåvirkninger af Hallandshus med Stråtag Sepatec brandsikret (FU (2)), normaliserede resultater.**

Figur 11 viser miljøpåvirkningerne for Trelleborgs Hallandshus med stråtag, hen over en betragtningsperiode på 50 år. Som det også blev vist i forrige afsnit 7.2 i figur 9, har stråtaget en negativ miljøpåvirkning i miljøpåvirkningskategorien EP. Dette er altså også gældende for typehuset med stråtag som helhed, hvor der i forbindelse med Hallandshuset er -5,69 person-ækvivalenter i denne miljøpåvirkningskategori. Den miljøpåvirkning som har størst påvirkning, er ADPf med 7,01 person-ækvivalenter. Hvis man ser på GWP, har Hallandshuset med stråtag en påvirkning på 4,57 person-ækvivalenter. I nedstående figur 12, ses det hvordan disse person-ækvivalenter GWP fordeler sig ud på de forskellige byggefaser.

Fremstillingen af materialer (A1-3) er negativ, dette skyldes blandt andet stråtaget, men også i høj grad den store mængde træ der er brugt til typehuset. Her medregner man i denne fase, hvor meget CO<sub>2</sub> tagrør og træ, i forbindelse med byggeriet, optager i sin biomasse i deres levetid. Denne CO<sub>2</sub> bliver så først frigivet i affaldssorteringen (C3), hvilket også medfører at det er denne fase, som har den største miljøpåvirkning for typehuset med 3,27 person-ækvivalenter.

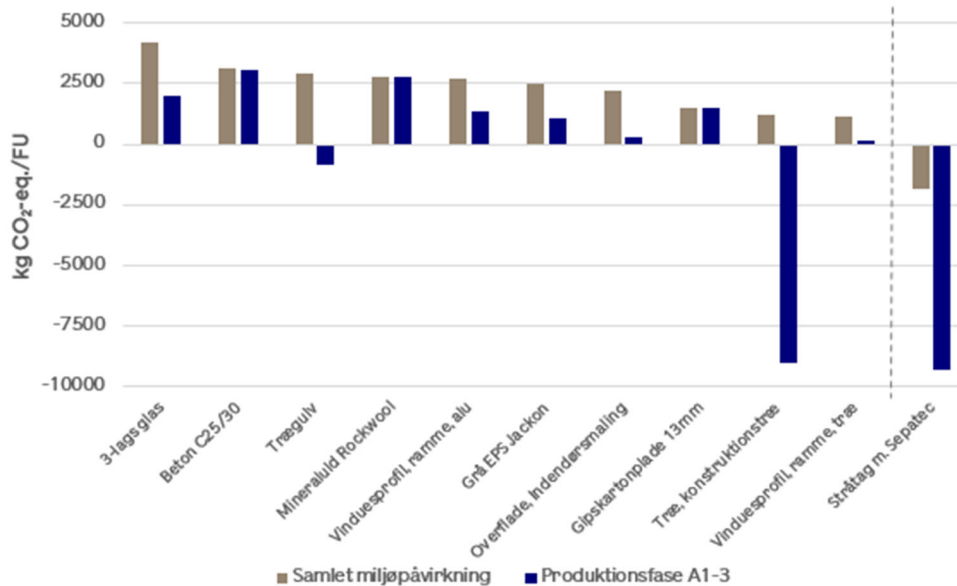


Figur 12 – GWP fordelt ud over faser af levetiden for Hallandshus med Stråtag Sepatec brandsikret (FU (2)), normaliserede resultater.



Figur 13 – GWP-hotspot for bygningsdelene af Hallandshus med Stråtag Sepatec brandsikret (FU (2)), karakteriserede resultater.

Figur 13 indikerer hvilke bygningsdele af Trelleborgs Hallandshus, som har størst GWP. Det er klart vinduerne, som har den største aftryk på GWP, med godt 8.000 kg CO<sub>2</sub>-eq.. Udover vinduerne er de mest påvirkende bygningsdele; terrændækket bestående af beton og EPS-isolering og den underliggende tagkonstruktion. Tagkonstruktionens relative store påvirkning, skyldes blandt andet den store tagflade som Trelleborgs 1,5-plans hus har. Tagfladen udgør en stor andel af huset med sine 184,64 m<sup>2</sup> tagflade. Det medfører at der i denne bygningsdel kommer en masse mineraluld, for at sikre at huset bliver vel isoleret. Selve tagdækningen af stråtag m. Sepatec brandsikring har en negativ effekt GWP, hvilket må siges at være ganske imponerende og positivt for husets samlede resultat i denne miljøpåvirkningskategori.



Figur 14 – GWP-hotspot for byggevarer af Hallandshuset med Stråtag Sepatec brandsikret (FU (2)). Top-10 mest påvirkende materialer, samt tagdækningen af tagrør til sammenligning, karakteriserede resultater.

Hvis man tager et kig på byggevarernes indflydelse på GWP. Ses det i figur 14, at det er glasandelen af vinduerne, som har størst påvirkning for Hallandshuset. En af årsagerne til at netop vinduerne og glasset har en stor påvirkning, er deres levetid. Levetiden i denne analyse er modelleret til 30 år. Det medfører at der i betragtningsperioden på 50 år, vil foretages en udskiftning af vinduerne. Dette kan faktisk også aflæses i figur 14, hvor produktionsfasen næsten er en halvering af den samlede miljøpåvirkning. Samme princip er også gældende for malingen, som har en kortere levetid og derved skal påføres af flere omgange i forbindelse med vedligeholdelse/udskiftning. Figur 14 giver også en fin indikation, for hvor meget CO<sub>2</sub> både træ og tagrør optager i sin levetid. Dette kan ses i produktionsfasen for de to byggevarer, hvor konstruktionstræet og stråtaget har et negativt CO<sub>2</sub>-aftryk på henholdsvis -9.026 kg CO<sub>2</sub>-eq. og -9.306 kg CO<sub>2</sub>-eq.. Da halvdelen af tagrørene dekomponerer som materiale hen over levetiden, vil det ligeledes kun være en halvdel som afbrændes i sidste ende. Dette er med til at stråtaget som helhed får en negativ CO<sub>2</sub>-påvirkning. For at se hvilken effekt dette har for bygningen som helhed, er der lavet en sammenligning i tabel 12. I tabellen er de fire testede tagdækninger fra afsnit 7.2 modelleret til Trelleborgs 1,5-plans Hallandshuset. Hallandshuset har et samlet tagfladeareal på 184,64 m<sup>2</sup> og et bruttoareal på 169 m<sup>2</sup>.

Hallandshuset GWP-påvirkning		
Tagkonstruktion	Kg CO <sub>2</sub> -eq.	Kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> /år
Stråtag m. Sepatec	31.541	3,73
Stråtag m. rupløjede brædder	31.241	3,70
Betontegl	36.628	4,33
Tagpap	36.008	4,26

Tabel 12 – Total GWP-miljøpåvirkning af Trelleborgs Hallandshuset med forskellige tagkonstruktioner (FU (2)). Samlet GWP-resultat og GWP pr. kvadratmeter om året i betragtningsperioden på 50 år.

Trelleborgs Hallandshus med et Sepatec brandsikret stråtag har en total GWP for dets bygningsdele på 3,73 kg CO<sub>2</sub>-eq. /m<sup>2</sup>/år. Dette resultat kan anses at være et rigtig fint i forhold andre boligtypologier. GWP-aftrykket er næsten en halvering i forhold til DGNB's referencehus på 7,19 kg CO<sub>2</sub>-eq. /m<sup>2</sup>/år (se bilag 9.1). Dette referencehus har dog også et rimelig stort miljøaftryk, og man bør derfor sigte efter at komme væsentlig under deres miljøpåvirkninger. Selve stråtaget og den underliggende tagkonstruktion udgør for eksemplet med Sepatec 9,4% af hele bygningens GWP. Stråtaget med rupløjede brædder præsterer minimalt bedre end løsningen med Sepatec, her kan man spare 300 kg CO<sub>2</sub>-eq. (0,95% af hele bygningens GWP-aftryk) ved at ændre tagkonstruktionen på Hallandshuset.

Generelt er det tydeligt at stråtage har en væsentlig og positiv effekt på byggeriets GWP. I det undersøgte eksempel med Hallandshuset sparer man omkring 5.086-5.387 kg CO<sub>2</sub>-eq. I forhold til et tag med betontegl og 4.466-4.767 kg CO<sub>2</sub>-eq. sammenlignet med tagpap. Dette er vel at mærke for en tagflade på 184,64 m<sup>2</sup>.

## 7.4 Transport af tagrør

Dette afsnit vil fokusere på transporten af tagrør. Der vil udelukkende være fokus på miljøpåvirkningen af transporten, dermed vil der ikke tages højde for den teknologiske differens der kan være rent geografisk for produktionen. Der er som udgangspunkt i dette afsnit antaget, at tagrørene er af samme kvalitet, selvom dette også reelt set vil variere grundet klimaforskelle geografisk. Afsnittet tager udgangspunkt i *"LCA of thatched roof", 2017, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut.*

Her vil data fra EPD'en benyttes til at sammenligne transporten fra 4 forskellige produktionslokationer; Danmark, Polen, Ukraine/Ungarn og Kina. Transportdistancen og -metode er lavet på baggrund af gennemsnitlige data fra EPD'en, hvor salgsandelen af produktionslokationer/leverandører også er fremvist. Udover de fire lokationer, vil der også være en sammenligning til de tal som er benyttet i EPD'en, hvilket dermed også er grundlag for denne rapport.

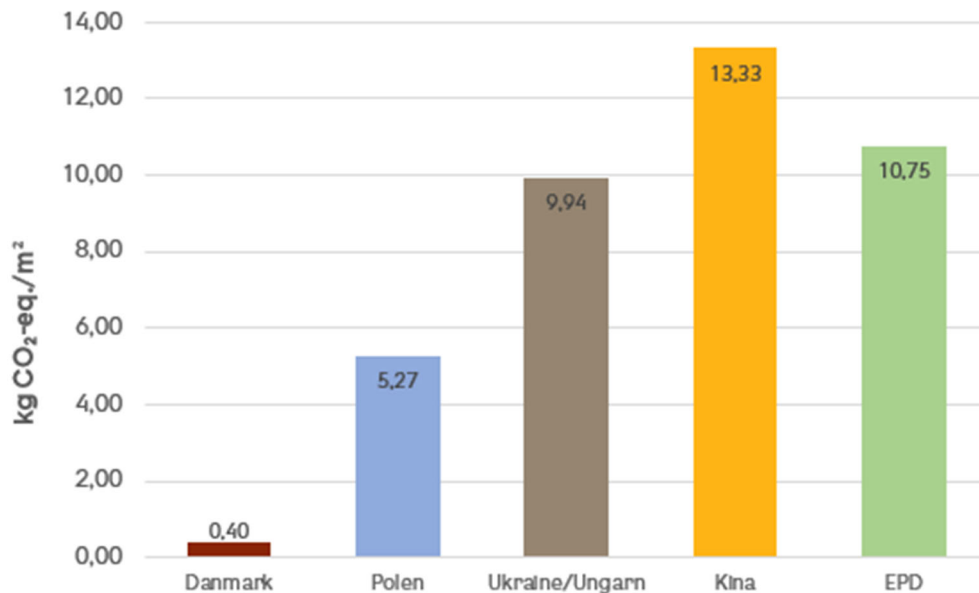
Transport		
Tagrør	Lastbil [Km]	Containerskib [Km]
Danmark	100	-
Polen	1.318	-
Ukraine/Ungarn	2.485	-
Kina	1.200	21.224
EPD	1.543	11.399

Tabel 13 – Distancer og metode for transporten af tagrør.

Miljøpåvirkningerne for transporten er de samme som er benyttet i EPD'en. Disse miljøpåvirkninger kan også ses i tabel 14. I afsnit 10. Referencer kan der findes link til datasæt i Ökobau.dat for transporten med lastbil og containerskib.

På næste side i figur 15 er GWP forbundet med transport af tagrør til 1 m<sup>2</sup> stråtag fremvist. Til 1 m<sup>2</sup> stråtag bruges der 44,6 kg tagrør. Figuren viser at transporten er en markant faktor for stråtagets miljøpåvirkning. Tagrørene fra Kina har en lang transportproces, hvilket medfører at GWP for transporten af 1 m<sup>2</sup> tagrør udleder 12,93 kg CO<sub>2</sub>-eq. mere end de danskproducerede tagrør. Transporten af tagrør fra Kina har en GWP der er 33 gange større end de danske tagrørs transport. Hvis GWP af transporterede tagrør skaleres tilsvarende eksemplet med Trelleborg Hallandshus, som besidder en tagoverflade på 184,64 m<sup>2</sup>, er der lige pludselig

mange kg CO<sub>2</sub> at spare på transporten. Her vil transporten af danske tagrør være på 73,9 kg CO<sub>2</sub>-eq., hvor de kinesiskproducerede tagrør vil have en GWP på 2461,2 kg CO<sub>2</sub>-eq..



Figur 15 - GWP af transporten af tagrør til 1 m<sup>2</sup> stråtag fra forskellige produktionslokationer (FU (1)), karakteriserede resultater.

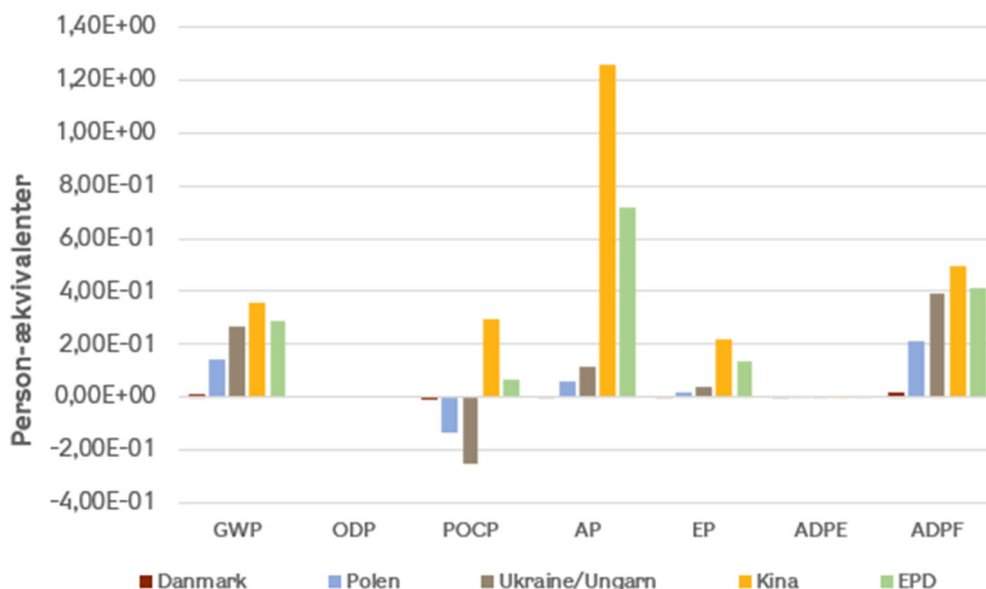
Hvis man kigger på alle miljøpåvirkningskategorier i figur 16, ses det også at der er en stor forskel på transporten og ikke mindst transportmetoden. Udover at der er en væsentlig længere distance fra Kina, ses det også at der kommer et andet aftryk på miljøpåvirkningerne, når der benyttes containerskibe. Her skiller resultaterne sig specielt ud for POCP, hvor transporten til lands med lastbiler, ifølge CML-metoden, rent faktisk har en negativ indvirkning. Figur 16 indikerer også at mere transport, med Kina som eksempel, medfører større miljøpåvirkninger indenfor kategorierne AP, EP og ADPf.

Hvis man blot vælger at tage et kig på transportmetoderne (se tabel 14), er det fordelagtigt at benytte lastbil fremfor containerskib i miljøpåvirkningskategorierne POCP og AP. Alle de resterende kategorier er containerskibet at fortrække med henblik på miljøet. Hvis man ser på GWP og fossile brændsler (ADPf), er miljøpåvirkningen næsten 10 gange større for lastbiler end containerskibe pr. t/km.

Miljøpåvirkninger transportmetode		
t/km	Lastbil	Containerskib
GWP	8,97E-02	9,01E-03
ODP	4,12E-17	2,43E-18
POCP	-7,35E-05	1,44E-05
AP	2,19E-04	2,69E-04
EP	5,23E-05	3,00E-05
ADPE	7,87E-09	2,92E-10
ADPF	1,20E+00	1,09E-01
PERT	7,22E-02	4,93E-04
PENRT	1,21E+00	1,09E-01

Tabel 14 – Miljøpåvirkninger af transportmetode pr. ton/km, karakteriserede resultater.

I afsnit 10. Referencer kan der findes link til datasæt i Ökobaudat for transporten med lastbil og containerskib.



Figur 16 – Miljøpåvirkninger af transport for 1 ton tagrør fra diverse produktionslokationer, normaliserede resultater.

## 8 Konklusion

### 8.1 Fortolkning af resultater

Stråtag er en konkurrencedygtig form for tagdækning, hvis man ser på det miljømæssige perspektiv. Tagrørens evne til at optage CO<sub>2</sub> og næringsstoffer i sin levetid resulterer i, at en tagdækning med strå performer positivt i miljøpåvirkningerne GWP og EP. I disse miljøpåvirkningskategorier er et stråtag at foretrække frem for andre traditionelle tagdækninger, såsom de sammenlignede betontegl og tagpap. Sammenlignet med de andre tagkonstruktioner har stråtaget en større miljøpåvirkning angående AP. Det er eftervist i afsnit 7.4, at en stor andel



af denne miljøpåvirkning stammer fra transporten af tagrør. Figur 15 og 16 indikerer at transporten udgør en væsentlig faktor for miljøpåvirkningen af tagrør. Det er påvist, at der er 12,93 kg. CO<sub>2</sub>-eq. at spare for en kvadratmeter stråtagdækning i transport, hvis man sammenligner transport af tagrør fra Kina med Danmark. Kina er pt. den største leverandør af tagrør til det danske marked, her må det anses at være bedre miljømæssigt at produktionen finder sted tættere på byggepladsen, da det vil mindske miljøpåvirkningerne markant.

I afsnit 7.3 med Hallandshuset fra Trelleborg som eksempel, viser resultaterne for typehuset at en tagkonstruktion med stråtag udgør cirka 9,4% af et trætypehus GWP-aftryk. Dette resultat er selvfølgelig varierende efter husets geometri, hvor et stråtag påkræver en taghældning på minimum 45 grader. Sådant en hældning medfører at tagkonstruktion bliver proportional stor i forhold til huset, hvilket medfører at det udgør en større andel af huset miljøpåvirkning. Det betyder at tagopbygningen i forhold til et fladere tag, vil have en større miljøpåvirkning. Dog medfører det også, at tagkonstruktioner med denne hældning har større potentiale for besparelse af miljøpåvirkninger for bygningen som helhed, i og med denne bygningsdel udgør en større andel af huset.

## 8.2 Begrænsninger af fremgangsmåde

- 1) Spild af materialer. Når et hus skal opføres, bliver der købt store mængder materialer ind til byggeriet. I den forbindelse vil der opstå en masse ubenyttet materialer, disse mængder er ikke modelleret i rapporten. Denne fejlkilde vil have en påvirkning på en reelt set forøget miljøpåvirkning. Det er også vigtigt, at man forsøger at minimere spild af tagrør. Her kunne noget af det resterende tagrør muligvis benyttes i form af andre produkter, såsom facadebeklædning.
- 2) Transport af materialer. Transporten af materialer afhænger i denne rapport af deres tilhørende EPD'er, dette medfører at data vedrørende transport varierer fra produkt til produkt. Der vil både være transport inkluderet i produktionsfasen, hvor råmateriale bliver transporteret til fabrikker hvor det forarbejdes. På fabrikkerne bliver råmaterialet forarbejdet, hvorefter det som komponenter transporteres videre til byggepladserne. Til sidst kan der også været modelleret transport i forbindelse med nedrivning/deponeringsfasen.
- 3) Maskineri til byggeri. Der er i modelleringen ikke taget stilling til, at man benytter større maskiner til opførelse og nedrivning af byggeriet. Disse maskiner vil medvirke til yderlig miljøpåvirkning. For at kunne modellere dette nøjagtigt, skal man have data for transport af maskinerne, deres størrelse (energiforbrug), og hvor mange timer de er blevet brugt i byggeriet.

## 8.3 Anbefalinger på baggrund af livscyklusvurdering

Det er eftervist i afsnit 7, at stråtage er den mest miljøvenlige løsning som tagdækning blandt de undersøgte tage. Tagrørens store optagelse af CO<sub>2</sub> i produktionsfasen, samt dens isoleringsevne i tagdækningen, udgør at det er en konstruktion med lave miljøpåvirkninger sammenlignet med andre ganske tagdækninger. Stråtaget er en miljøvenlig løsning både med eller uden Sepatec brandsikring. Som vist i figur 10, er det ikke en nævneværdig forskel imellem de to stråtagkonstruktioner, hvor de blot har en difference på 1,63 kg CO<sub>2</sub>-eq. /m<sup>2</sup> af de to

tagkonstruktioners GWP. Begge stråtagkonstruktioner performer markant bedre end de sammenlignede tagkonstruktioner bestående af betontegl og tagpap.

Det er yderst essentielt at prøve at formindske transporten af tagrør, da der kan spares en stor andel af miljøpåvirkningen blot på transport. Det er optimalt set de danskproducerede tagrør, som er bedst for miljøet. Dog kan der være andre faktorer, såsom kvaliteten af tagrør og produktionsmuligheder i Danmark, der spiller ind. Hvis det ikke er muligt at få eller benytte danske tagrør, er det ud fra transporten efterfølgende polske tagrør, så ukrainske/ungarske og til sidst kinesiske tagrør, som bør benyttes.

En anden vigtig faktor, er at udnytte mængden af tagrør, så der kommer mindre spildmateriale og transporten dermed heller ikke er forgæves. Spildmateriale eller kortere strå kan der eksperimenteres med i f.eks. facader eller tagrygninger. Det kan også være, at man kan udvikle nye alternative løsninger til at udnytte tagrørene mest muligt.

Fremadrettet kan der eventuelt foretages undersøgelser for hvilken effekt tagrør kan have i facadepbygninger. Her vil der være mulighed for at drage sammenligninger til andre facadeopbygninger. Igen kan der for denne opbygning, tages højde for at en konstruktion med strå øger isoleringsevnen og dermed kan formindske brugen af isoleringsmateriale. Der skal i forbindelse med en vægopbygning, muligvis også kigges på, hvordan andre isoleringsmaterialer har af indflydelse for konstruktionen. Der kan blandt andet være materielle sammensætninger, som skal tjekkes for skærpede brandkrav.

Derudover kunne det også undersøges, hvilke former for rygning på stråtaget der er mest miljøvenlig. Stråtage har mange forskellige slags rygninger, med varierende opbygninger og levetider.



Figur 17 - Referencebillede af tækket facade og tag, Mois Bjerge.

Link: <https://straatagetskontor.dk/inspiration/nybyggeri-i-danmark/>

## 9 Bilag

### 9.1 DGNB referencebygning

**TABEL 1** Konstanterne til brug i beregning af referencebygningens værdier for bygning, vedligeholdelse, nedtagning og bortskaffelse af bygningsværket i de forskellige miljøpåvirkningskategorier.

	GWP	ODP	POCP	AP	EP
ENHED	[kg CO <sub>2</sub> -ækv. / (m <sup>2</sup> SBA*a)]	[kg R11-ækv. / (m <sup>2</sup> SBA*a)]	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ækv. / (m <sup>2</sup> SBA*a)]	[kg SO <sub>2</sub> -ækv. / (m <sup>2</sup> SBA*a)]	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ækv. / (m <sup>2</sup> SBA*a)]
<b>DEL 1</b> MIP <sub>REF</sub>	7,19	4,1*10 <sup>-7</sup>	0,0032	0,028	0,0036
<b>DEL 2</b> MIP <sub>REF</sub>	4,4	2,5*10 <sup>-7</sup>	0,0018	0,017	0,0022

Tabel 15 - [DGNB System Danmark, Etageejendom og rækkehuse 2016](#), Tabel 1 - s. 90.

Der skal tages udgangspunkt i tallene for "Del 1", da det er resultaterne for en betragtningsperiode på 50 år. "Del 2" er med en betragtningsperiode på 80 år.

### 9.2 Miljøpåvirkninger for stråtag uden Sepatec og stållister

Nedstående data er benyttet til at modellere stråtagsdækningen med rupløjede brædder. Det er tal fra stråtags EPD'en uden Sepatec og stållister. Denne modellering er lavet i dialog med opdragsgiver. Hertil er der i selve tagkonstruktionen tilføjet 22 mm rupløjede brædder.

	A1-A3	C4
GWP	-5,10E+01	4,05E+01
ODP	3,97E-09	8,81E-12
POCP	3,90E-03	3,34E-04
AP	4,18E-01	4,12E-03
EP	-8,82E-01	8,41E-04
ADPe	1,25E-04	3,83E-07
ADPf	3,19E+02	7,38E+00
PEr	9,98E+02	1,31E+00
PEnr	3,27E+02	8,78E+00

Tabel 16 - Miljøpåvirkning for 1 m<sup>2</sup> stråtag uden Sepatec brandsikring og stållister

## 9.3 IBF betontagsten EPD

### LCA baseret miljødokumentation baseret på strukturen i EN 15804

Producent

IBF Ikast  
Lysholt Allé 4

7430 Ikast



Produkt

Betontagsten

Produktnavn

Vinge Økonomi Tagsten, sort (glans 5)

Sag

Vandkunsten (Huscompagniet)

Dato for udstedelse:

13-02-2020

Deklareret enhed

1 ton

Beregnedte moduler

Vugge til port med tilvalg (A1-A4+D)

Miljøpåvirkninger		Før fabrik	Produktion	Transport til kunde	Total
Global opvarmingspotentiale; GWP	kg CO <sub>2</sub> -ækv.	283	17	24	323
Nedbrydning af ozonlaget i stratosfæren; ODP	kg CFC 11-ækv.	40,8E-9	168,1E-9	8,7E-9	217,7E-9
Forsuring af jord- og vandkilder; AP	kg SO <sub>2</sub> -ækv.	942,8E-3	38,6E-3	109,4E-3	1,1E+0
Eutrofiering; EP	kg PO <sub>4</sub> -ækv.	52,6E-3	10,5E-3	25,4E-3	88,5E-3
Dannelse af fotokemiske oxidanter; POCP	kg ethene-ækv.	304,4E-3	-1,2E-3	-36,2E-3	267,0E-3
Udtømming af mineralske ressourcer	kg Sb-ækv.	9,68E-05	9,90E-07	9,32E-07	9,87E-05
Udtømming af fossile energikilder	MJ (net calorific value)	2258	3	7	2268

Ressourceforbrug		Før fabrik	Produktion	Transport til kunde	Total
Forbrug af vedvarende primære energikilder	MJ (net calorific value)	251	0	13	264
Forbrug af vedvarende primære energikilder (ekskl. Råmaterialer)	MJ (net calorific value)	0	0	0	0
Total forbrug af vedvarende primære energikilder	MJ (net calorific value)	251	0	13	264
Forbrug af ikke-vedvarende primære energikilder	MJ (net calorific value)	2836	45	327	3208
Forbrug af ikke-vedvarende primære energikilder (ekskl. Råmaterialer)	MJ (net calorific value)	0	0	0	0
Total forbrug af ikke-vedvarende primære energikilder	MJ (net calorific value)	2836	45	327	3208
Forbrug af sekundære materialer	kg	77	0	0	77
Forbrug af vedvarende sekundære energikilder	MJ	98	0	0	98
Forbrug af ikke-vedvarende sekundære energikilder	MJ	151	24	0	175
Forbrug af vand	m <sup>3</sup>	50,9	1,0	1,2	53,2

Affald		Før fabrik	Produktion	Transport til kunde	Total
Farligt affald	kg	0,52	0,00	0,00	0,52
Ikke farligt affald	kg	19,26	0,02	0,00	19,28
Radioaktivt affald	kg	3,11E-02	2,26E-08	0,00E+00	0,03

Supplerende miljømæssige oplysninger		Før fabrik	Produktion	Transport til kunde	Total
Materialer til genbrug	kg	-	-	-	-
Materialer til genanvendelse	kg	-	-	-	-
Materialer med udnytteligt energiindhold	kg	-	-	-	-

Til beregningerne er benyttet værktøjet udarbejdet af Teknologisk Institut til Dansk Beton Aflebsgruppen, Belægningsgruppen og Blokgruppen

MVD-regneark version 2.4

Versionsdato: 19-10-2016

Filnavn:

MVD\_regneark\_2.4 ØKO Tagsten 2019.xlsx



## 9.4 U-værdiberegninger for tagkonstruktioner

Stråtag Sepatec Materialelag	Tykkelse	$\lambda$ -værdi	Faktor	Isolans
	[m]	[W/mK]		[R]
Indvendig overgangsisolans loft			1,000	0,100
Stråtag inkl. Sepatec	0,3	0,175	1,000	1,714
Mineraluld 179mm	0,179	0,034	0,963	5,067
Lægter 45x73mm pr. 350	0,073	0,12	0,129	0,078
Spær 45x195mm pr. 1200	0,195	0,12	0,038	0,061
Afstandslister 22x45mm pr. 1200	0,045	0,12	0,018	0,007
Asfaltfiberplade	0,012	1,18	1,000	0,010
Mineraluld 100mm	0,1	0,034	0,925	2,721
Stolper 45x95mm pr. 600	0,095	0,12	0,075	0,059
Afstandslister 22x45mm pr. 600	0,045	0,12	0,037	0,014
Dampspærre	0,0002	0,076	1,000	0,003
Forskalling 20x98mm pr. 300	0,02	0,12	0,327	0,054
Gipsplade	0,013	0,18	1,000	0,072
Udvendig overgangsisolans			1,000	0,040
			Isolans total:	10,00
			U-værdi:	0,10

Stråtag rupløjet brædder Materialelag	Tykkelse	$\lambda$ -værdi	Faktor	Isolans
	[m]	[W/mK]		[R]
Indvendig overgangsisolans loft			1,000	0,100
Stråtag	0,3	0,125	1,000	2,400
Rupløjet brædder	0,022	0,12	1,000	0,183
Mineraluld 106mm	0,106	0,034	0,963	3,001
Lægter 45x73mm pr. 350	0,073	0,12	0,129	0,782
Spær 45x195mm pr. 1200	0,195	0,12	0,038	0,061
Afstandslister 22x45mm pr. 1200	0,045	0,12	0,018	0,007
Asfaltfiberplade	0,012	1,18	1,000	0,010
Mineraluld 100mm	0,1	0,034	0,925	2,721
Stolper 45x95mm pr. 600	0,095	0,12	0,075	0,059
Afstandslister 22x45mm pr. 600	0,045	0,12	0,037	0,014
Dampspærre	0,0002	0,076	1,000	0,003
Forskalling 20x98mm pr. 300	0,2	0,12	0,327	0,544
Gipsplade	0,013	0,18	1,000	0,072
Udvendig overgangsisolans			1,000	0,040
			Isolans total:	10,00
			U-værdi:	0,10

Betontegl Materialelag	Tykkelse	$\lambda$ -værdi	Faktor	Isolans
	[m]	[W/mK]		[R] [m <sup>2</sup> K/W]
Indvendig overgangsisolans loft			1,000	0,100
Betontegl	0,01	0,8	1,000	0,013
Mineraluld 239mm	0,239	0,034	0,963	6,769
Lægter 45x73mm pr. 350	0,073	0,12	0,129	0,078
Spær 45x195mm pr. 1200	0,195	0,12	0,038	0,061
Afstandslister 22x45mm pr. 1200	0,045	0,12	0,018	0,007
Asfaltfiberplade	0,012	1,18	1,000	0,010
Mineraluld 100mm	0,1	0,034	0,925	2,721
Stolper 45x95mm pr. 600	0,095	0,12	0,075	0,059
Afstandslister 22x45mm pr. 600	0,045	0,12	0,037	0,014
Dampspærre	0,0002	0,076	1,000	0,003
Forskalling 20x98mm pr. 300	0,02	0,12	0,327	0,054
Gipsplade	0,013	0,18	1,000	0,072
Udvendig overgangsisolans			1,000	0,040
Isolans total:				10,00
U-værdi:				0,10

Tagpap Materialelag	Tykkelse	$\lambda$ -værdi	Faktor	Isolans
	[m]	[W/mK]		[R] [m <sup>2</sup> K/W]
Indvendig overgangsisolans loft			1,000	0,100
Tagpap	0,008	0,2	1,000	0,040
Krydsfiner	0,018	0,12	1,000	0,150
Mineraluld 233mm	0,233	0,034	0,963	6,590
Lægter 45x73mm pr. 350	0,073	0,12	0,129	0,078
Spær 45x195mm pr. 1200	0,195	0,12	0,038	0,061
Afstandslister 22x45mm pr. 1200	0,045	0,12	0,018	0,007
Asfaltfiberplade	0,012	1,18	1,000	0,010
Mineraluld 100mm	0,1	0,034	0,925	2,721
Stolper 45x95mm pr. 600	0,095	0,12	0,075	0,059
Afstandslister 22x45mm pr. 600	0,045	0,12	0,037	0,014
Dampspærre	0,0002	0,076	1,000	0,003
Forskalling 20x98mm pr. 300	0,02	0,12	0,327	0,054
Gipsplade	0,013	0,18	1,000	0,072
Udvendig overgangsisolans			1,000	0,040
Isolans total:				10,00
U-værdi:				0,10



## 10 Referencer

### **BIM 7AA (2017)**

Link: [http://www.bim7aa.dk/BIM7AA\\_Typekodning.html](http://www.bim7aa.dk/BIM7AA_Typekodning.html)

### **DGNB System Danmark**

Etageejendom og rækkehus 2016 (2017)

Link: <https://www.dk-gbc.dk/publikationer/dgnb-manual-for-etageejendomme-og-raekkehuse-2016/>

### **EPD-Norge**

Link: [https://www.epd-norge.no/?lang=no\\_NO](https://www.epd-norge.no/?lang=no_NO)

### **ILCD-Handbook (2010)**

Retningslinjer for LCA lavet af den europæiske kommission JRC (Joint Research Centre)  
General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance.

Link: <https://epca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUID-ANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>

### **ISO 14040, Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Krav og vejledning, 4. udgave (2008)**

### **ISO 14044, Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Principper og struktur, 2. udgave (2008)**

### **Kronvald**

Referencetal varmeledningsevne, Kronvald.

Link: <http://www.kronvald.dk/Brian%20Kronvald%20Hansen/Projekter/7Semester/Projektfor-slag/PDF/uvaerdig.pdf>

### **LCAByg**

LCA-værktøj benyttet til at lave analyse og resultatbehandling. Programmet er udarbejdet af SBI / BUILD med støtte fra TBST.

Link: <https://www.lcabyg.dk/>

### **SBI**

SBI 2013:30, Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi, N. Aagaard, E. Brandt, Søren Aggerholm & K. Haugbølle. (2013)

Link: <https://sbi.dk/Assets/Levetider-af-bygningsdele-ved-vurdering-af-baeredygtighed-og-taloekonomi/sbi-2013-30-rapport.pdf>

SBI 2020:04 - Klimapåvirkning fra 60 bygninger – Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger, R.K. Zimmermann, C.E. Andersen, K. Kanafani & H. Birgisdóttir. (2020)

<https://sbi.dk/Assets/Klimapaavirkning-fra-60-bygninger/SBi-2020-04.pdf>



## **Straatagets Kontor**

Link: <https://straatagetskontor.dk/>

*LCA of thatched roof, Carlo F. Christensen & Teknologisk Institut (2017)*

Link: <https://straatagetskontor.dk/wp-content/uploads/2017/05/001-EPD-Straatag-Carlo-F.-Christensen.pdf>

*Varmeledningsevne stråtag, Straatagets Kontor i samarbejde med Teknologisk Institut (2020)*

Link: <https://straatagetskontor.dk/wp-content/uploads/2019/02/StraatagetsVar-meledningsevne2020.pdf>

## **Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen**

Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse (2020).

Link: <https://baeredygtighedsklasse.dk/>

## **Tækkelaug**

Stråtagsopbygning, Tækkelaug (2009).

Link: <https://www.taekkelaug.dk/media/15919/taekkevejledning2009.pdf>

## **Ökobaudat**

Link: <https://www.oekobaudat.de/en.html>

*Sepatec*

[https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=fa976ebb-09ce-4e5b-9976-621d9ac1f12e&stock=OBD\\_2020\\_II&lang=en](https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=fa976ebb-09ce-4e5b-9976-621d9ac1f12e&stock=OBD_2020_II&lang=en)

*Stållister*

[https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=e9ae96ee-ba8d-420d-9725-7c8abd06e082&stock=OBD\\_2020\\_II&lang=en](https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=e9ae96ee-ba8d-420d-9725-7c8abd06e082&stock=OBD_2020_II&lang=en)

*Transport Lastbil*

[https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=f54f1e4c-07e2-4045-9f1b-fb28ef8adf13&stock=OBD\\_2020\\_II&lang=en](https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=f54f1e4c-07e2-4045-9f1b-fb28ef8adf13&stock=OBD_2020_II&lang=en)

*Transport Containerskib*

[https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=ac373f25-b524-430b-897a-bfb2cdf027bf&version=20.19.120&stock=OBD\\_2020\\_II&lang=en](https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=ac373f25-b524-430b-897a-bfb2cdf027bf&version=20.19.120&stock=OBD_2020_II&lang=en)

## 11 3.Parts review:

Kommentar fra reviewer Morten Birkved:

LCA'en i nærværende rapport er udført baseret på EPD'er. Denne tilgang er repræsentativ den praksis, der anvendes ved LCA'er af bygninger og bygningsdele. Præcis samme tilgang anvendes i beregningsværktøjer som LCAbyg samt One Click LCA.

Nærværende LCA adskiller sig derved ikke nævneværdigt fra lignende nyere LCA'er udført vha. disse værktøjer og nærværende LCA vurderes derfor, at repræsentere gældende praksis.