



## Det klimavenlige Landbrugsbyggeri, Baseline LCA og LCC

Mahdi, Vania; Volden, Mikkel T. B. ; Jensen, Lotte Bjerregaard; Ryberg, Morten

*Publication date:*  
2021

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Mahdi, V., Volden, M. T. B., Jensen, L. B., & Ryberg, M. (2021). *Det klimavenlige Landbrugsbyggeri, Baseline LCA og LCC*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

---

### General rights

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

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

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

## Arbejdspakke: 1

- LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'

### Rapport





## **DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI**

Arbejdspakke: 1  
- LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'

Rapport  
Januar, 2021

Udarbejdet af  
Vania Mahdi.  
Mikkel T. B. Volden  
Lotte B. Jensen  
Morten Ryberg

Copyright:      Reproduction of this publication in whole or in part must include the customary bibliographic citation, including author attribution, report title, etc.

Cover photo:    Gråkjær A/S 'Totalstald'

Published by:   DTU, Department of Civil Engineering, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark  
[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

# Indhold

<b>1</b>	<b>Baggrund for projektet</b>	<b>1</b>
1.1	Formål med resultaterne . . . . .	1
1.2	Totalstalden . . . . .	2
1.3	LCA - Livscyklusvurdering . . . . .	2
1.4	EPD - Miljøvaredeklarationer . . . . .	4
1.5	LCC – Totaløkonomi og Levetidsomkostninger . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Metode</b>	<b>6</b>
2.1	Dataindsamling . . . . .	6
2.2	Input data . . . . .	7
2.3	Betragtningsperiode . . . . .	8
2.4	Antagelser . . . . .	8
2.5	LCC metode . . . . .	8
<b>3</b>	<b>LCA-resultater</b>	<b>9</b>
3.1	Hotspot-analyse . . . . .	9
3.2	Drift vs Bygningsdele . . . . .	10
3.3	Øvrige miljøpåvirkningskategorier . . . . .	10
3.4	Konklusion . . . . .	10
<b>4</b>	<b>LCC-resultater</b>	<b>16</b>
4.1	Beregningsforudsætninger . . . . .	16
4.2	Opsummerede omkostninger . . . . .	16
4.3	Nutidsværdier uden restværdi . . . . .	17
4.4	Konklusion . . . . .	18
	<b>Bibliografi</b>	<b>19</b>
<b>A</b>	<b>Appendiks</b>	<b>21</b>
A.1	Inventoryliste fra LCAbyg 3.2 . . . . .	21
A.2	LCA-resultater for øvrige miljøpåvirkningskategorier . . . . .	22
A.3	LCAbyg rapport . . . . .	22
A.4	LCCbyg rapport . . . . .	31

# 1 Baggrund for projektet

Dansk landbrug ønsker at bidrage til en grøn omstilling i samfundet. Der er mange indgange til feltet, og én af dem er at undersøge mulighederne for at etablere bæredygtigt landbrugsbyggeri. I samarbejde med SEGES, som er en faglig del af erhvervsorganisationen Landbrug & Fødevarer og entreprenørfirmaet Graakjær, blev det besluttet at benytte en standard svinestald som case studie. Danmarks Tekniske Universitet, Institut for byggeri og Anlæg udfører en serie af analyser, med et nyt koncept, "Totalstalden", som udgangspunkt. Gråkjær A/S, som producerer 'totalstalden', har været en væsentlig samarbejdspartner i projektet.

Der er 4 arbejdsopgaver i projektet. Denne rapport præsenterer resultaterne fra den første arbejdsopgave, hvor ønsket var at anvende et almindeligt anvendt Life Cycle Costing (LCC) og Life Cycle Assessment (LCA) værktøj til at etablere et grundlag at vurdere ændringsforslag til totalstalden ud fra. I denne delrapport præsenteres en såkaldt 'baseline', dvs. en opgørelse af miljøpåvirkningen af den nuværende totalstald. På baggrund af 'baseline' vil det kunne demonstreres i hvilken grad de ændringsforslag, der udvikles i projektet, er mere bæredygtige end udgangspunktet samt sammenligne omkostninger i hele bygningens levetid. Til det formål er der udført en Life Cycle Costing (LCC) og Life Cycle Assessment (LCA) af Totalstalden, ved hjælp af programmerne LCAbyg 3.2<sup>1</sup> og LCCbyg 3.2<sup>2</sup> freeware. - begge programmer er udgivet af SBI, Aalborg Universitet.

## 1.1 Formål med resultaterne

Formålet med resultaterne fra LCAbyg og LCCbyg er ikke at bruge dem som egentligt dokumentationsarbejde. Resultaterne skal altså ikke ses som dokumentation til en certificering eller i forbindelse med f.eks. den Frivillige Bæredygtighedsklasse<sup>3</sup>.

Formålet med resultaterne er derimod, at de kan bruges til at udpege hvor det giver mening at søge alternative løsninger for at bygge mere bæredygtigt (mindre miljøbelastende) – herunder alternative byggematerialer, byggemetoder, arkitektur, energiløsninger, osv.

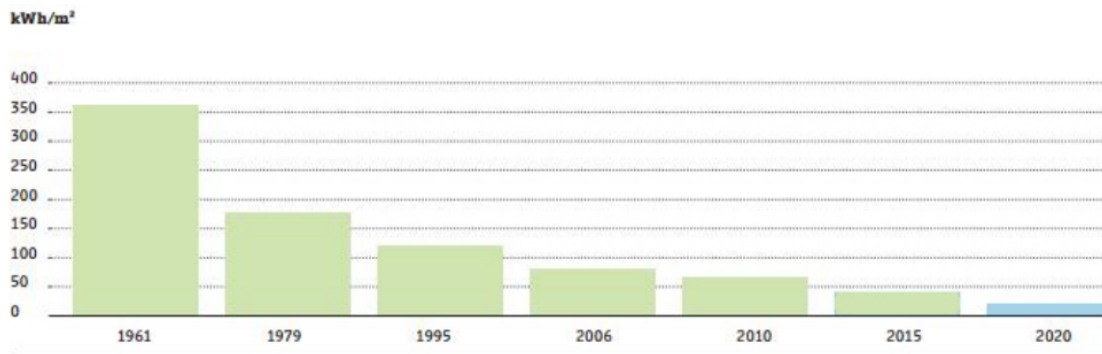
I en LCA er energiforbruget til drift (herunder ventilation) indregnet, som en del af den samlede miljøpåvirkning, se figur 1.1.

---

<sup>1</sup><https://lcabyg.dk/>

<sup>2</sup><https://lccbyg.dk/>

<sup>3</sup><https://www.baeredygtighedsklasse.dk/>



Kilde Energistyrelsen

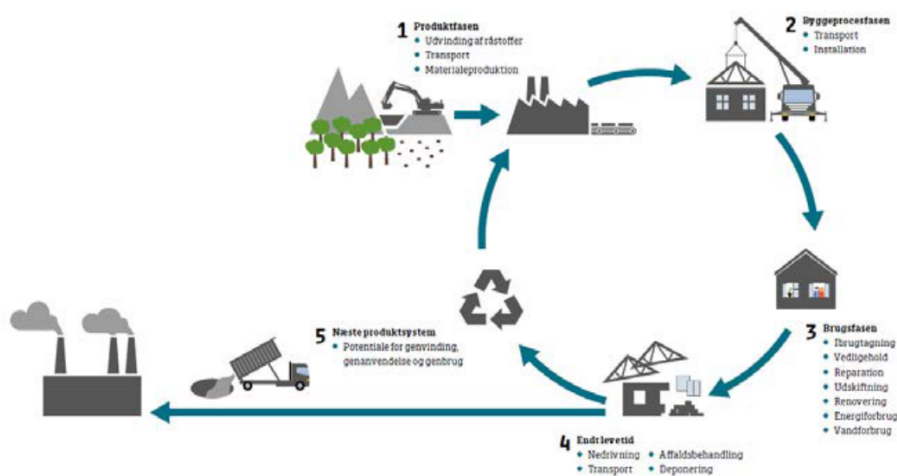
Figur 1.1: Udviklingen i energiforbrug til bygningsdrift siden det første bygningsreglement med energikrav i 1961 (Birgisdottir & Madsen, 2017)

## 1.2 Totalstalden

Totalstalden er et produkt, markedsført af Gråkjær A/S. Det er et konceptbyggeri, som er opført mange steder i landet, og er produktudviklet til at være optimeret i forhold til energi forbrug til drift af stalden og i forhold til opførelsespris, herunder opførelsestid. Stalden er designet til at skulle have en levetid på 40 år. Den har et integreret ventilationssystem, hvor lufttilførslen sker ved diffus nedsivning gennem træbeton loftsplader, for at undgå trækgener for dyr og personale. Stalden er 100 % mekanisk ventileret og tæt, ukontrolleret luftskifte, for at formindske risikoen for sygdomssmitte.

## 1.3 LCA - Livscyklusvurdering

Da energiforbruget til drift af bygninger er reduceret i forhold til andre typer byggerier, vægter miljøaftrykket fra materialer og bortskaffelse af byggematerialer relativt højt. Det kan dokumenteres igennem en LCA-beregning, som giver et overblik over de samlede miljøpåvirkninger, som et byggeri udleder i hele dets levetid og gør det muligt at sammenligne med alternative løsninger. Udedningen af miljøpåvirkninger opdeles i forskellige miljøpåvirkningskategorier og stadier af bygningens livsforløb.



Figur 1.2: En bygnings livscyklus inddelt i faser (Birgisdottir & Rasmussen, 2015)

Figur 1.2 viser de fem faser som er en del af livscyklusforløbet for en bygning. Første

fase er produktfasen og angiver udvinding af råstoffer til byggematerialerne og transport til byggevarereproducenten. Ved at genanvende byggematerialer kan man undgå (dele af) produktfasen. Anden fase er byggeprocessen; her medtages transport af byggevarer til byggepladsen og energi til opførelse af bygningen. Tredje fase er brugsfasen og her vurderes bygningen fra den er opført til den skal rives ned. Der medtages vedligehold, reparationer, udskiftning af byggematerialer, renovering, samt energiforbrug og vandforbrug til drift af bygningen. Fjerde fase er når bygningen har nået endt levetid og dermed skal rives ned. Her behandles energiforbrug i forbindelse med nedrivning af bygningen på byggepladsen samt transport og affaldshåndtering af bygge-materialerne. Affaldshåndtering af byggematerialer kunne være forbrænding eller deponi. Femte fase er potentialet for genanvendelse og genbrug af byggematerialer efter den endte levetid og medfører at byggematerialer kan medtages i endnu et nyt livscyklusforløb i en anden bygning/funktion.

Modul	A1-A3			A4-A5		B1-B7							C1-C4				D
Livscyklus-faser	Produkt			Bygge-proces		Brug							Endt levetid				Uden for system-grænse
Processer	Råmaterialer	Transport	Produktion	Transport	Overførelse/montering	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til drift	Vandforbrug til drift	Nedtagning/nedrivning	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Potentiale for genanvendelse, genvinding og genbrug
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Tabel 1.1: Livscyklusfaser som defineret i den europæiske standard EN 15978:2011

Tabel 1.1 viser et mere detaljeret overblik over de forskellige faser, som kan tages med i en LCA-beregning. I praksis inddrages dog normalt ikke alle faser. LCAByg 3.2 inkluderer modul A1-A3, B4, C3 og C4 i sine beregninger.

### 1.3.1 Miljøpåvirkningskategorier og Indikatorer

Der findes mange miljøpåvirkningskategorier og indikatorer. Den miljøpåvirkning som er mest anvendt og generelt får størst opmærksomhed er kendt i daglig tale som drivhus-gasser/klimaforandringer (GWP) og måles i kg. CO<sub>2</sub> ækvivalenter.

I LCAByg 3.2 indgår i alt fem miljøpåvirkningskategorier samt to kategorier for udtømmning af ressourcer og to kategorier for energiforbrug – altså 9 forskellige kategorier i alt.



Kategori	Enhed	Problem / Betydning
GWP (Global opvarmning)	CO <sub>2</sub> -ækvivalenter	Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimænderinger til følge.
ODP (Ozonlagsnedbrydelse)	R11-ækvivalenter	Nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag som beskytter flora og fauna mod solens skadelige UV-A og UV-B-stråler
POCP (Fotokemisk ozondannelse)	Ethen-ækvivalenter	Bidrager i forbindelse med UV-stråler til at danne jordnær ozon (sommersmog) som bl.a. er skadelig for luftvejene
AP (Forsuring)	SO <sub>2</sub> -ækvivalenter	Reagerer med vand og falder som "sur regn", der bl.a. medvirker til at nedbryde rodsystemer og udvaske planternes næringsstoffer.

EP (Nærings saltbelastning)	PO <sub>4</sub> -ækvivalenter	For høje tilførsler af næringsstoffer fremmer uønsket plantevækst i sarte økosystemer, f.eks. algevækst med fiskedød til følge.
ADP-E (Udtømning af abiotiske ressourcer – grundstoffer)	Sb-ækvivalenter	Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller eller mineraler.
ADP-F (Udtømning af abiotiske ressourcer – fossile)	MJ eller kWh	Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelig energi i form af fossile brændsler
PE-tot (Primærenergiforbrug)	MJ eller kWh	Et højt forbrug af ressourcer i primærenergiform (før konvertering) fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til ressourceknaphed.
Sek (Forbrug af sekundære brændsler)	MJ eller kWh	Sekundære brændsler (f.eks. affald) er i princippet en begrænset ressource, og derfor kan et højt forbrug af sekundære brændsler indirekte føre til ressourceknaphed.

Tabel 1.2: Miljøpåvirkningskategorier i LCAbyg 3.2 (Birgisdottir & Rasmussen, 2015)

Kategorierne i tabel 1.2 medtages ofte i materialedatabaser som ESUCO, Ökobau og i miljøvaredeklarationerne (EPD). Kategorierne udgør en del af mængden af kategorier i de europæiske standarder for bæredygtighed inden for byggeri og anlæg – CEN/TC 350.

## 1.4 EPD - Miljøvaredeklarationer

EPD er en forkortelse for miljøvaredeklaration og kommer fra det engelske udtryk: "Environmental Product Declaration". En EPD er en deklaration af en byggevare og beskriver (et udvalg af) byggevarens miljøpåvirkninger. Den giver et standardiseret format til dokumentation af byggevarers miljøegenskaber baseret på LCA-beregninger.

Byggevareproducenter vælger selv, om de vil have udarbejdet en EPD af deres produkt(er). Det er en selvbetalt ordning og EPD'en udarbejdes typisk af en LCA-konsulent, derefter kommer der verifikation, som udføres af en verifikator, som er godkendt af EPD Danmark<sup>4</sup>. På det danske marked er det EDP Danmark som godkender og udgiver EPD'er til byggevarer. EPD Danmark arbejder for en europæisk harmonisering af verificerbar dokumentation af byggevarers miljøegenskaber<sup>5</sup>. Standarden for udformning af en EPD bygger på CEN/TC 350-standarderne som indeholder en standard for miljøvaredeklarationer: DS/EN 15804:2012 'Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer'<sup>6</sup>.

En EPD skal som minimum omfatte fase A1-A3 (se tabel 1.1) og angive miljøpåvirkningerne til opførelsesfasen. Resten af livscyklusfaserne er valgfrie.

<sup>4</sup>www.epddanmark.dk

<sup>5</sup>EPD Danmark, 2019

<sup>6</sup>Birgisdottir & Rasmussen, 2015

I den kommende, reviderede udgave af EN 15804, som forventes udgivet i 2019 (med en overgangsperiode på 3 år), ændres standarden for EPD'er sådan, at faserne C1-C4 (endt levetid) samt D (næste produktsystem) også skal være obligatoriske<sup>7</sup>. Det er vigtigt at "End of Life" fasen (C1-C4) også tages med i udarbejdelsen af en EPD, for at opnå så præcise livscyklusanalyser som muligt.

## 1.5 LCC – Totaløkonomi og Levetidsomkostninger

LCC (life Cycle Costing) indebærer en samlet vurdering af omkostningerne ved en bygning og drift af en bygning i et totaløkonomisk perspektiv. Dermed er det muligt at tilnærme et optimum mellem opførelsesomkostninger, levetid og vedligeholdelse. Det er muligt at den mindst omkostningsfulde konstruktion eller overflademateriale er den mest omkostningsfulde set over en længere periode. Der indgår i en LCC en del af de samme data som i en LCA, men herudover er der anvendt anskaffelsesomkostninger for terræn og bygning, inventar og udstyr samt forvaltning og forsyning. Data i denne rapport analyse stammer fra salgsprislister fra Gråkjær A/S. Levetider er baseret på SBI 2013:30.

Der indgår en række beregningsforudsætninger i værktøjet LCCbyg omkring kalkulationsrente og prisudvikling og resultatet præsenteres som nutidsværdi og restværdi. Værktøjet egner sig til at sammenligne forskellige scenarier – f.eks. kan bygningens levetid justeres og forskellige tekniske løsninger og materialevalg (med prædefinerede levetider tilknyttet hvert materiale) sammenlignes. Ved at evaluere forskellige alternativer er det muligt at identificere, hvilke parametre der har størst indflydelse, og derved optimere bygningens design, således at økonomiske ressourcer og rentabiliteten for hele bygningens levetid kan forbedres så meget som muligt, identificere den totaløkonomiske værdi.

---

<sup>7</sup>EPD Danmark, 2019

## 2 Metode

Den valgte metode fremkom på baggrund af diskussioner med SEGES og Gråkjær. Freeware programmer LCAByg og LCCbyg, udviklet af SBI, blev valgt fordi det generelt anbefales at bruge i Danmark – både i forhold til gængse bæredygtighedscertificeringssystemer såsom DGNB<sup>1</sup> (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) valgt til brug i Danmark af Green Building Council Denmark og i forhold til Den Frivillige Bæredygtighedsklasse<sup>2</sup>, som blev lanceret i 2020<sup>3</sup>.

Det skal understreges, at staldbygninger ikke indgår som typologi i de to systemer, men værktøjerne (LCAByg og LCCbyg) er almindeligt udbredt i den danske byggebranche – blandt andet også pga. programmernes relative simple layout, som gør det lettere at arbejde med, for folk uden en stor baggrund inden for området.

De processer som medtages i LCAByg 3.2 inkluderer modul A1-A3, B4, C3 og C4 fra tabel 1.1.

### 2.1 Dataindsamling

En af de største udfordringer ved enhver LCA-beregning, er ofte at skaffe data til indtastning i det valgte LCA-beregningsværktøj. Gråkjær udfører digitale modeller over deres bygninger i REVIT software. Hvis Revit modellen er udført med henblik på LCA og LCC kan mængder af materiale og andet nødvendig data 'trækkes' ud af modellen, hvilket letter processen mærkbart, samt giver mulighed for en mere detaljeret model i LCA-værktøjet. Det kunne imidlertid ikke lade sig gøre i dette tilfælde med Totalstalden, da mængdeudtrækket ikke modsvarede den Totalstald præcist nok, som det var ønsket at bruge som baseline til LCA-beregningerne. Et vigtigt resultat heraf er, at Gråkjær har mulighed for, med relativt lidt arbejde, at ændre i deres Revit modeller, så de kan bruges til udtræk af informationer i en LCA- og LCC beregning.

#### 2.1.1 Første iteration: Indsamling af data til LCA og LCC

Mængderne for bygningsdelene strammer fra en Revit model eksport, men der manglede en måde at identificere materialerne på. Undervejs opdages det, at der ikke er fuldstændig enighed mellem udtrækket fra Revit, Gråkjærs salgsprislister og information fra hhv. SEGES og Gråkjær om hvordan Totalstalden er opbygget. Derfor afbrydes arbejdet og en ny model bygges op.

#### 2.1.2 Anden iteration: Indsamling af data og opbygning af nye modeller

Det viste sig at det mest retvisende data i de fleste tilfælde stammede fra Gråkjærs salgsprislister. Mængderne til livscyklusvurderingerne stammer primært fra salgsprislister samt

<sup>1</sup>DGNB er en omfattende bæredygtighedscertificering og kræver mere detaljeret dokumentation, end der ønskes i en frivillig bæredygtighedsklasse i Bygningsreglementet. Kravene i den frivillige bæredygtighedsklasse er baseret på internationale standarder og er tilpasset til EU-initiativer, fx Level(s). Level(s) bygger på eksisterende Europæiske standarder, hvor indikatorer og metoder stammer fra CEN/TC350. Level(s) er ikke et certificeringsværktøj men kan bruges til benchmarking af bygninger

<sup>2</sup><https://www.baeredygtighedsklasse.dk/>

<sup>3</sup>Den Frivillige Bæredygtighedsklasse: udgangspunkt i de frivillige lavenergiklasser i Bygningsreglementet og Bygningsklasse 2020. Dog skal bæredygtighedsklassen og lavenergiklassen ikke forveksles, da det skal være muligt at vælge om man vil bygge efter enten den frivillige bæredygtighedsklasse eller den frivillige lavenergiklasse, eller, hvis man vil, vælge at opfylde dem begge. Etablering af en frivillig bæredygtighedsklasse vil ikke påvirke de mindstekrav, der i øvrigt allerede er i Bygningsreglementet, men vil hvor nødvendigt bygge oven på disse. (Nielsen et al., 2018)

tegningsmateriale/udtræk fra Revit modellen og konsultation med repræsentanter for SEGES og Gråkjær, for at bekræfte udvalgte konstruktioners opbygning/mængder. Der har flere steder har været behov for yderligere uddybning af opbygningen af de forskellige bygningsdele, da det ikke har fremgået detaljeret nok af verden Revit model eller salgsmateriale.

Den endelige inventoryliste<sup>4</sup> må ses som værende præcis nok til at give et retvisende billede for Totalstaldens mest miljøpåvirkende bygningsdele – en såkaldt hotspot-analyse. Dette er netop formålet med denne LCA-beregning, så resultaterne kan bruges i et videre arbejde om at udpege bygningsdele som har en stor miljøpåvirkning, og undersøge mulighederne for at finde mindre miljøbelastende alternativer. Hvis meget præcise resultater for miljøpåvirkninger skal bruges i en anden sammenhænge, vil det være nødvendigt at indsamle mere præcise data for Totalstalden.

Ud fra hotspot-analysen i LCAbyg, er udvalgte bygningsdele detaljeret yderligere ved hjælp af tilgængelige EPD'er fra EPD Danmark.

### 2.1.3 Miljøpåvirkningsdata for materialer

I LCAbyg kan man enten vælge at anvende generisk data om materiale fra den inkluderede database med produkter og byggematerialer, eller vælge selv at indtaste produkt-specifikke EPD'er.

Den generiske data må anses for, udelukkende at være god nok til en umiddelbar vurdering af, hvilke bygningsdele som eksempelvis befinder sig på top-10 over GWP<sup>5</sup> i bygningens levetid. Dernæst vil det, hvis brugbare resultater ønskes, være nødvendigt at indsætte mere præcise data, for de bygningsdele, som det er muligt.

Det vil ofte være for stort et arbejde, og måske endda ikke muligt hvis der mangler EPD'er eller anden brugbar data, at indtaste EPD'er for alle byggematerialer (måske endda ikke engang alle i top-10). Dog vil EPD'er altid medvirke til et mere retvisende resultat, hvorfor der i denne rapport analyser og indtastninger, i så vid udstrækning det har været muligt, er anvendt EPD'er for alle de mest miljøbelastende bygningsdele.

## 2.2 Input data

I appendiks A.1, figurer A.1 og A.2, findes der en komplet liste over de indtastede byggematerialer, mængder, vægt og levetider i LCAbyg 3.2.

Opbygning af randfundament og kanalvægge stammer fra detaljetegninger fra Revit modellen, se appendiks A.1, tabel A.1 og figur A.3.

En liste over hvilke EPD'er der er brugt til hvilke byggematerialer kan ses i tabel 2.1.

Byggemateriale	EPD
Randfundament	[5]
Kanalbund	[5]
Svinespalte	[5]
Grovbeton, gang	[5]
Cembrit B9	[1]
Træspær (alle)	[6]
Skillevægge, letbetonelementer	[3]
Facadeelementer	[5] og [4]
Træbetonloft	[2]

Tabel 2.1: Oversigt over hvilke EPD'er der er brugt til hvilke byggematerialer

<sup>4</sup>Inventoryliste beskriver input til programmet. Altså essentielt set det data, som bliver givet til programmet og som bliver medtaget i LCA-beregningerne (herunder materialer, mængder, levetider, energiforbrug etc.)

<sup>5</sup>Global Warming Potential – Klimaforandringer [kg. CO<sub>2</sub> ækvivalenter]

## 2.3 Betragtningstperiode

Ved enhver LCA- og LCC-beregning er det nødvendigt at definere betragtningstperioden. En staldbygning har en væsentligt kortere forventet levetid, end eksempelvis énfamiliehuse eller kontorbygninger har. I SBI 2013:30 angives levetiden for landbrugsbygninger til 40 år, hvorfor dette er brugt som betragtningstperioden i begge beregninger for både LCA og LCC.

## 2.4 Antagelser

Det har været nødvendigt at gøre en række antagelser ved indtastning af data i LCAbyg:

1. Ved flere bygningsdele har det været uklart hvilken betonklasse der bruges. I de fleste tvivlstilfælde er der brugt beton i styrkeklasse C25/30
2. Uklarhed i tegningsmaterialet omkring punktfundament/søjler hvorfor mængder/opbygning af disse bygger på antagelser
3. Facadeopbygning er indtastet med en kerne af PIR-skum isolering. Der findes modstridende tegningsmateriale om hvorvidt der bruges PIR-skum eller mineraluld. Valget af isoleringsmateriale er betydningsfuld for facadevæggens miljøpåvirkninger
4. Træbetonloftet (Troidtekt) er antaget at være "grå"plader. "Hvide"plader har væsentligt højere miljøpåvirkninger
5. Døre/vinduer: generelt er der kun brugt generisk data for døre/vinduer, hvorfor resultaterne for disse må anses for ikke at være specielt retvisende
6. Pga. uklarhed omkring armering i visse beton-dele er mængden af armering generelt baseret på antagelser/skøn

## 2.5 LCC metode

Livscyklusomkostningsanalysen blev foretaget i LCCbyg 3.2, som er et softwareværktøj, der beregner den samlede økonomi og giver et klart overblik over levetidsomkostningerne for en hel bygning og individuelle bygningsdele. Der er ingen forbindelse mellem databasen i LCAbyg og LCCbyg, hvilket betyder, at materialemængderne skal konverteres, så de passer til beskrivelsen i LCCbyg. Denne konvertering skulle foretages manuelt. De fleste af priserne blev fundet direkte i Gråkjær A/S salgsprislister.

LCC-beregningens overvejelsesperiode for 'totalstalden's levetid er 40 år baseret på oplysninger fra Gråkjær A/S. Hvis bygningens levetid var sat til 120 år som betragtningstperiode, ville usikkerheden være steget, da beregningen er forenklet og heller ikke tager hensyn til forskellige fremtidsscenerier, hvis f.eks. vedligeholdelsesomkostninger ville ændre sig gennem hele livscyklussen. Det valgte beregningsprincip anvendte en diskonteringsrente og faste priser, som er en rentesats, der er justeret for at fjerne effekten af forventet eller faktisk inflation. De generelle data for diskonteringsrenten er standardindstillingen i LCCbyg 3.2. Den samme standardindstilling blev brugt til prisudvikling af vand, elektricitet osv.

## 3 LCA-resultater

Resultaterne stammer fra beregninger lavet i LCAByg 3.2. Rapporten fra LCAByg kan ses i appendiks A.3.

### 3.1 Hotspot-analyse

En effektiv måde at udpege de mest miljøbelastende bygningsdele, er igennem en hotspot-analyse. Dernæst er det nødvendigt at udvælge hvilke miljøpåvirkningskategorier der skal kigges på. Eftersom ønsket fra SEGES primært går på, at nedbringe Totalstalden påvirkninger til klimaforandringer (CO<sub>2</sub>-aftryk) vil der først og fremmest blive præsenteret resultater for GWP (kg. CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

#### 3.1.1 Hotspot: Bygningsdele

De første resultater der præsenteres, er en hotspot over de forskellige bygningsdele i Totalstalden og kan ses på figur 3.2. Det ses, at de fem mest miljøbelastende bygningsdele er:

1. Fundament
2. Ydervæg
3. Tag
4. Loft
5. Indervæg / Terrændæk

Resultaterne er forventlige, da disse 5 bygningsdele tilsammen omfatter størstedelen af bygningen.

#### 3.1.2 Hotspot: Bygningskomponenter

For at udpege hvilke bygningskomponenter i de forskellige bygningsdele, som har det største CO<sub>2</sub>-aftryk, kan man lave en hotspot-analyse over de forskellige bygningskomponenter i Totalstalden. På figur 3.1 ses GWP resultaterne heraf. Her kan det ses, at de fem mest miljøbelastende bygningskomponenter er:

1. Kanalbund (970 m<sup>2</sup>)
2. Facadevægge (429 m<sup>2</sup>)
3. Træbetonloftet (1715 m<sup>2</sup>)
4. Grovbeton, gang (550 m<sup>2</sup>)
5. Randfundament (184 m)

Dette giver en mere konkret idé om, hvilke steder Totalstalden har sit potentiale, i forhold til at nedbringe dens CO<sub>2</sub>-aftryk.

#### 3.1.3 Hotspot: Materialer

Slutteligt præsenteres en hotspot-analyse over hvilke materialer der har det største CO<sub>2</sub>-aftryk. Resultaterne kan ses på figur 3.3. Her ses det, at mineralske byggematerialer (beton) uden sammenligning, er det byggemateriale med det højeste CO<sub>2</sub>-aftryk. Men eftersom det statiske system og ydervægge + indervægge i Totalstalden er opbygget

af beton, foruden fundament og terrændæk, så er resultatet ikke så underligt. Resultatet fortæller derimod, at der kan ligge et stort potentiale i at erstatte noget mineralsk materiale med et andet materiale, hvis Totalstaldens CO<sub>2</sub>-aftryk skal nedbringes.

### **3.1.4 Konklusion på hotspot-analyse**

Fundamenter, ydervægge og tag er de tre bygningsdele med det største CO<sub>2</sub>-aftryk. Hvis man kigger mere præcist på, hvilke bygningskomponenter der er ansvarlige for klimabelastningen, så kan viser det sig at være kanalbunden, facadevæggene og træbetonloftet. Disse tre bygningskomponenter består i høj grad af beton, hvilket også kommer til udtryk i hotspot-analysen for materialer hvor mineralske byggematerialer, uden sammenligning, står for størstedelen af CO<sub>2</sub>-aftrykket for Totalstalden i hele dens levetid.

## **3.2 Drift vs Bygningsdele**

Et andet vigtigt aspekt ved LCA-resultater for en bygning, er udledningerne som stammer fra hhv. drift og bygningsdelene. I hotspot-analysen er det kun bygningens komponenter som er taget i betragtning.

Totalstalden har et samlet energiforbrug på 46 kWh/m<sup>2</sup> år, hvilket primært stammer fra bygningens ventilationsanlæg, da stalden har et højt luftskifte. Til gengæld er Totalstalden ikke opvarmet, hvilket gør, at energien til drift ligger på et niveau som kan sammenlignes med moderne bygger inden for boligsektoren – dette er på trods af, at Totalstalden slet ikke er isoleret efter samme høje krav, som der er til moderne boligbyggeri.

Resultaterne fra LCAByg mellem drift og bygningsdele kan ses på figur 3.4. Her ses det, at igennem bygningens 40 års levetid, står bygningsdele for lidt under halvdelen af det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk.

### **3.2.1 Konklusion på Drift VS Bygningsdele**

Konklusionen må være, at både energiforbruget (primært til ventilation) og bygningsdelene står for en væsentlig del af Totalstaldens CO<sub>2</sub>-aftryk. Derfor ligger der et stort potentiale for forbedringer, både hvad angår bygningsdesign/konstruktionsvalg samt inden for energiforbrug- og forsyning til bygningen.

## **3.3 Øvrige miljøpåvirkningskategorier**

Eftersom GWP ikke er den eneste miljøpåvirkningskategori der bliver målt på i en LCA-beregning, er det vigtigt at gøre opmærksom på nogle af de andre kategorier og deres resultater. I appendiks A.2 kan resultaterne for 3 øvrige miljøpåvirkningskategorier ses, samt det primære energiforbrug.

Det ses, at for eksempelvis kategorien POCP (fotokemisk ozondannelse) står grovbeton i gangen for langt størstedelen af udledningen. Kigger man derimod på kategorien AP (forsuring), er udledningerne fordelt mere jævnt over en række forskellige bygningsdele. Man kan dog se, at mange af bygningsdelene, som scorede højest i GWP, også er til stede i top-5 i disse kategorier.

## **3.4 Konklusion**

Konklusionen på LCA-resultaterne er, at der er mulighed for at nedbringe Totalstaldens CO<sub>2</sub>-aftryk på flere måder.

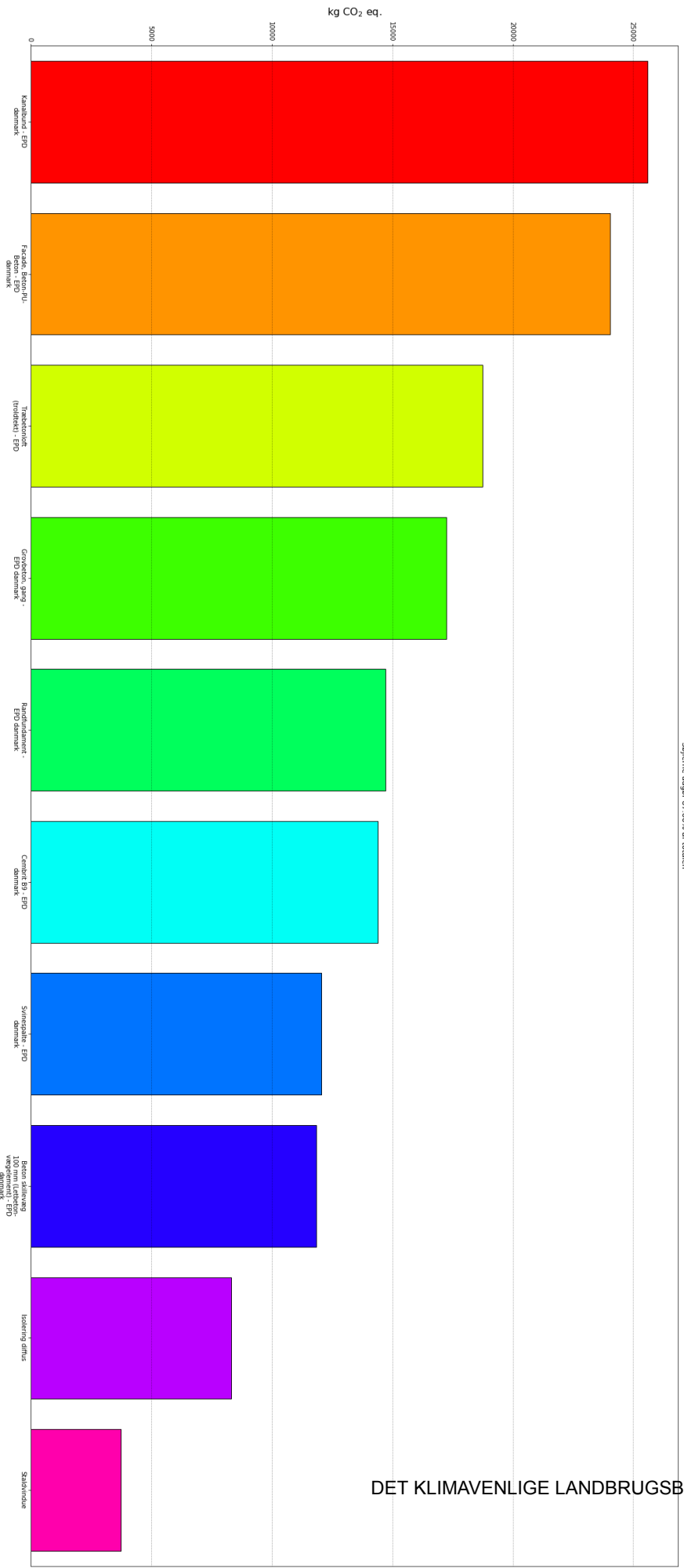
Den ene del af CO<sub>2</sub>-aftrykket kommer fra driften af bygningen igennem dens levetid. Strømforbruget fra driften går primært til ventilationen i staldbygningen, hvor et højt luftskifte er nødvendigt.

Derudover er der en række miljøpåvirkninger fra forskellige bygningsdele og komponenter. Her er konklusionen, at i Totalstalden kommer bidraget til klimaforandringer, GWP,

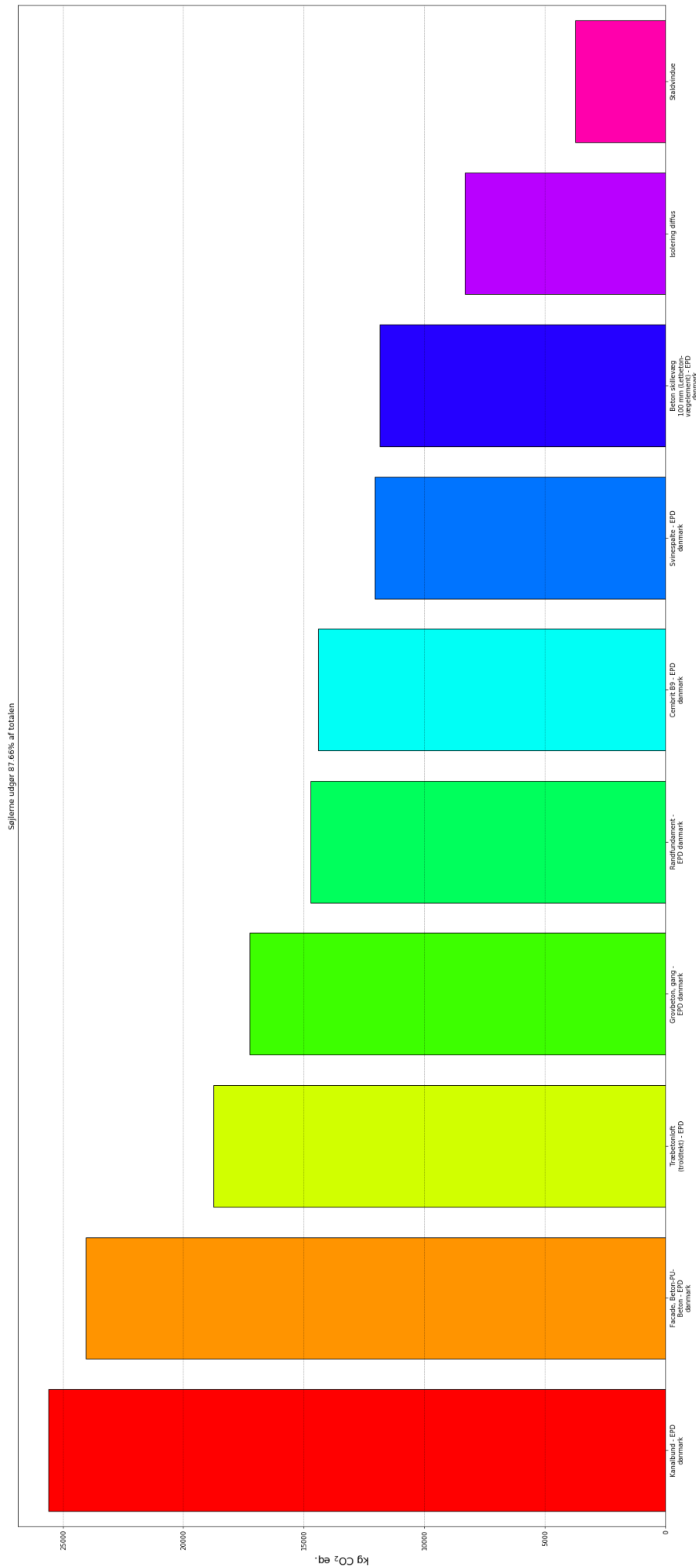
næsten udelukkende fra mineralske byggematerialer – altså primært beton. Derfor ligger der et stort potentiale i at nedbringe CO<sub>2</sub>-aftrykket for Totalstalden, ved at finde alternative byggematerialer og designe nye bygningsdele, som kan opfylde funktionen på samme vis, som betonen gør i dag.

Alternativt skal de mineralske byggematerialer genanvendes efter endt levetid enten ved at bygningen renoveres og transformeres til evt. andet formål eller ved at betonelementerne anvendes igen i et andet byggeri. I de kommende arbejdsplaner i projektet vil dette blive undersøgt nærmere.

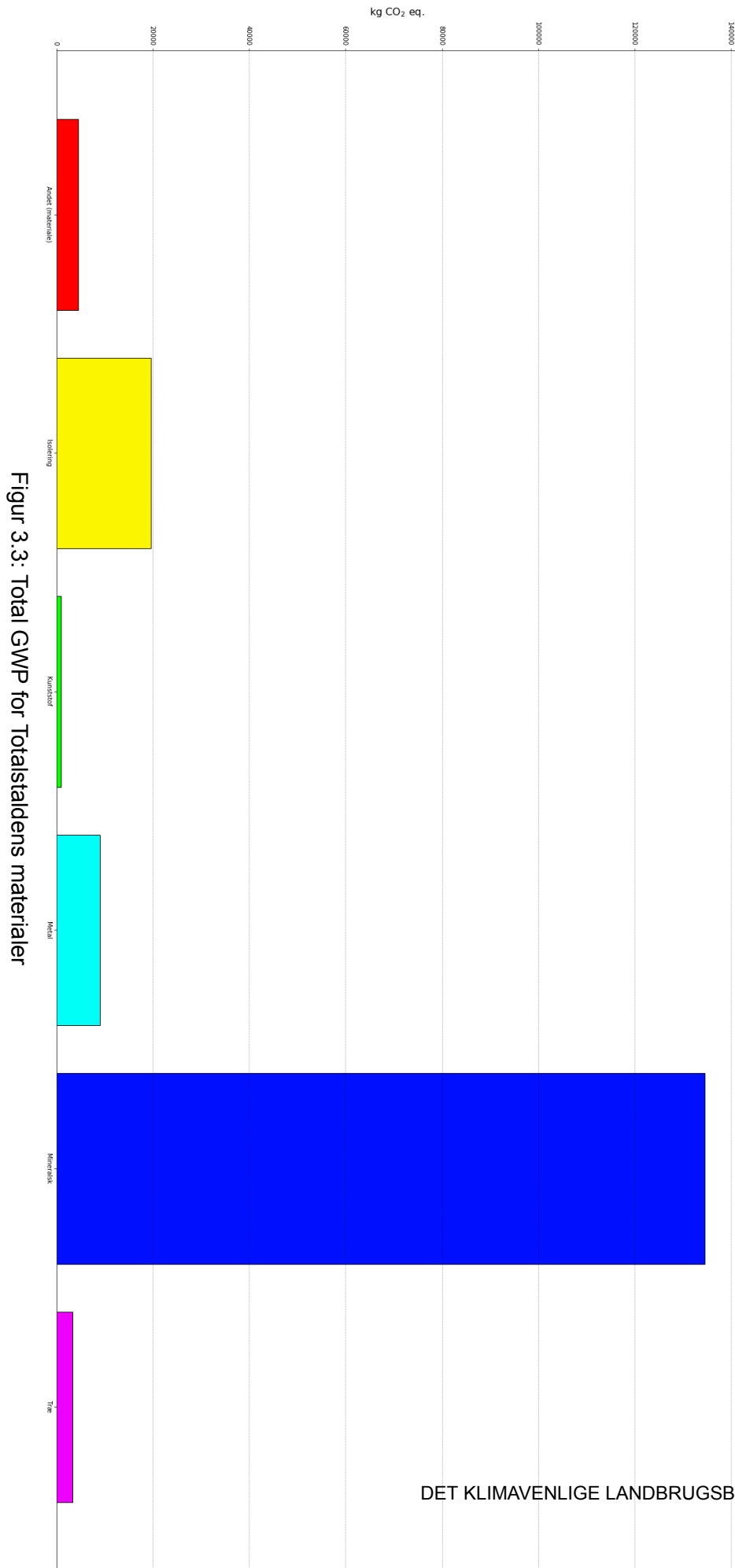




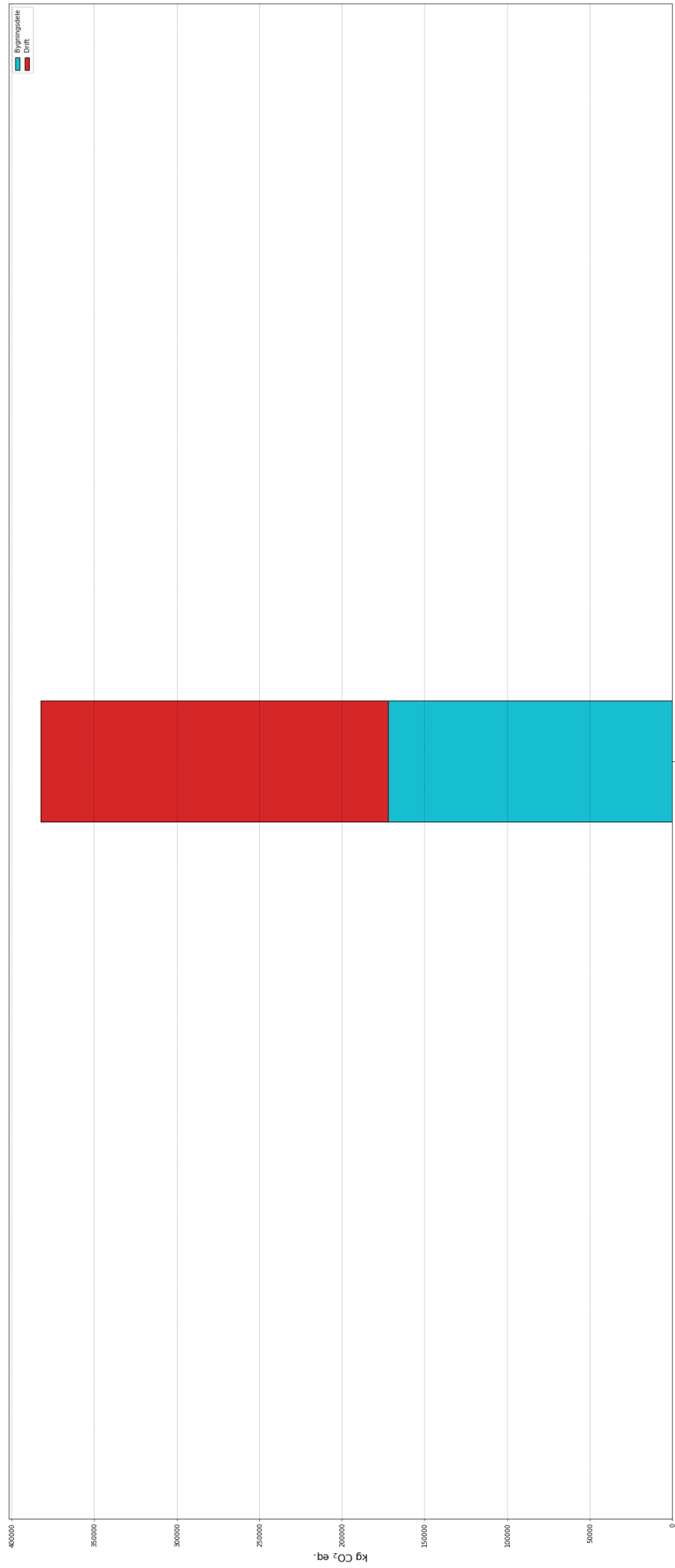
Figur 3. 1: Total GWP for Totalstaldens bygningskomponenter



Figur 3.2: Total GWP for Totalstaldens bygningsdele



Figur 3.3: Total GWP for Totalstaldens materialer



Figur 3.4: GWP – Drift VS Bygningsskole

## 4 LCC-resultater

Resultater stammer fra beregninger i LCCbyg 3.2.  
Rapporten fra LCCbyg kan ses i appendiks A.4.

### 4.1 Beregningsforudsætninger

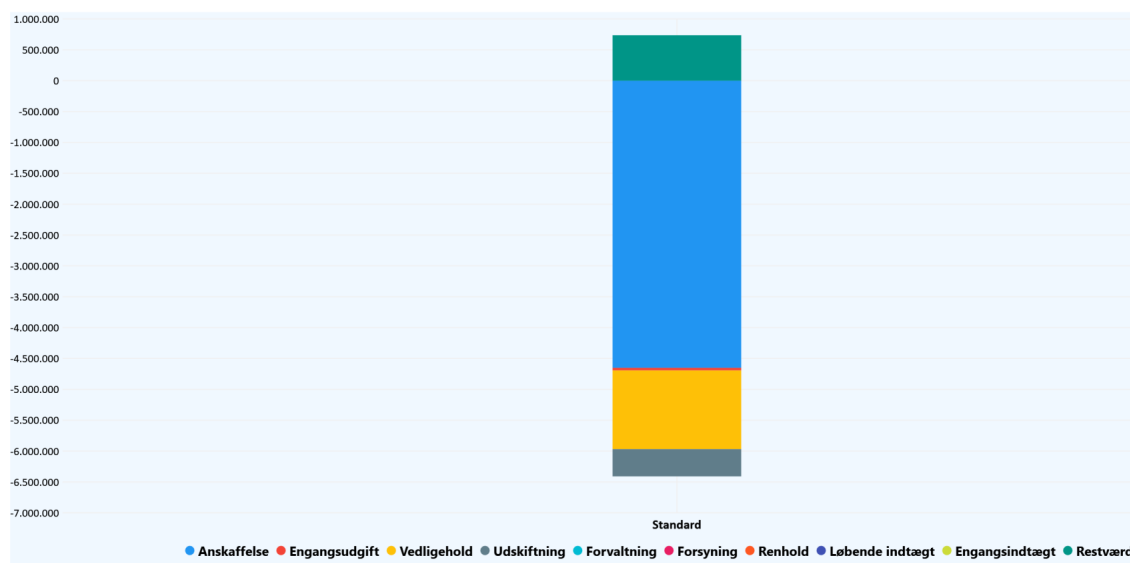
Beregningsforudsætninger for LCC-beregninger fremgår af tabel 4.1

Navn	Standard
Kalkulationsrente	År 1: 5,0 % År 36: 5,0 % År 71: 5,0 %
Prisudvikling generelt	2,0 %
Prisudvikling for drikkevand	4,0 %
Prisudvikling for spildevand	7,0 %
Prisudvikling for energi generelt	4,0 %
Prisudvikling for fjernvarme	3,0 %
Prisudvikling for gas	1,5 %
Prisudvikling for flydende brændsel	4,0 %
Prisudvikling for fast brændsel	3,0 %
Prisudvikling for el	3,5 %
Prisudvikling for skatter og afgifter	2,0 %
Prisudvikling for forsikring	5,0 %
Prisudvikling for administration	2,0 %

Tabel 4.1: LCC – beregningsforudsætninger

### 4.2 Opsummerede omkostninger

De opsummerede omkostninger for Totalstalden kan ses på figur 4.1.

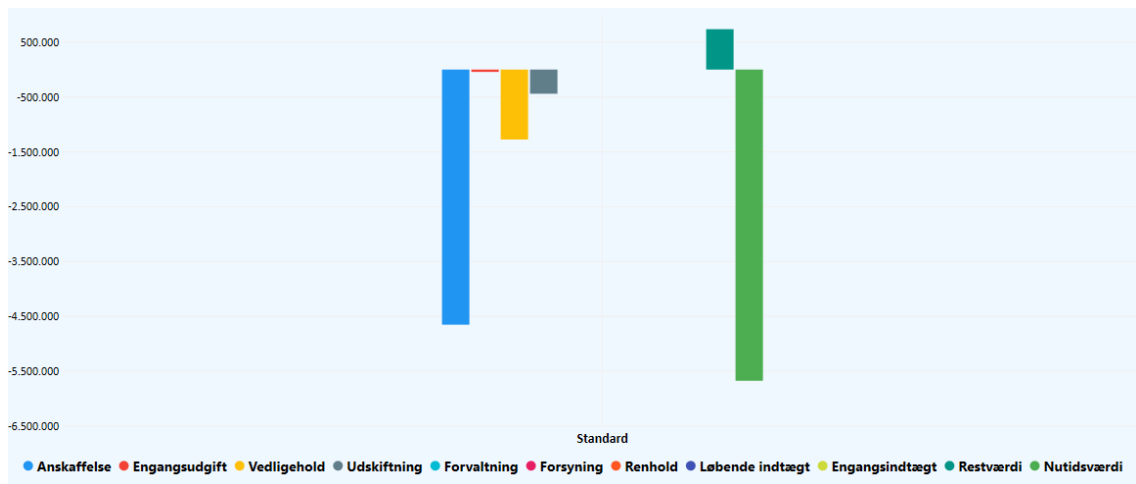


Figur 4.1: LCC – Opsummerede omkostninger for Totalstalden

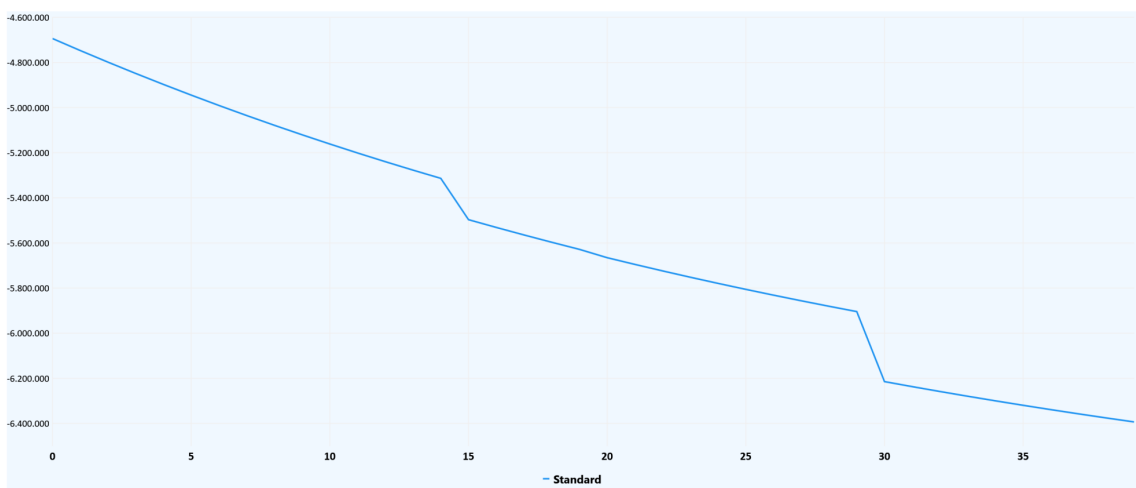
### 4.3 Nutidsværdier uden restværdi

Nutidsværdien defineres som summen af de tilbagediskonterede fremtidige pengestrømme. Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden.

Figur 4.2 viser nutidsværdier for Totalstalden. Figur 4.2 viser resultatet af opsummerede nutidsværdier, uden restværdi. Knækkene i grafen indikerer, at der vil være en forøgelse i omkostningerne ift. vedligeholdelse eller udskiftning af forskellige bygningsdele.



Figur 4.2: LCC – nutidsværdier



Figur 4.3: LCC – Opsummerede nutidsværdier, uden restværdi

En oversigt over hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi kan ses i tabel 4.2.

Navn	Standard
Anskaffelse	-4.652.368
Engangsudgift	-41.541
Vedligehold	-1.274.982
Udskiftning	-441.525
Forvaltning	
Forsyning	
Renhold	
Løbende indtægt	
Engangsindtægt	
Nutidsværdi uden restværdi	-5.673.783
Restværdi	736.633
Nutidsværdi	

Tabel 4.2: LCC – hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi

#### 4.4 Konklusion

LCC-analysen skal fungere som en 'baseline' som nye løsningsforslag kan sammenlignes med. Men herudover giver analysen også nogle indikationer af hvilke omkostninger der med fordel kan optimeres ved det nuværende design. Blandt andet er der en stor restværdi, hvilket skyldes at levetiden er sat til 40 år (angivet af Gråkjær A/S) men f.eks. betonelementerne har en betydelig længere levetid. Det understreger potentiale for at genanvende betonelementerne, og evt. forberede bygningen for dette (design for disassembly).

## Bibliografi

- [1] Cembrit Holding A/S. *EPD - Cembrit tagplader EPD-CEM-20160114-IAD1-EN*. 2016. URL: [www.epddanmark.dk](http://www.epddanmark.dk).
- [2] Troldekt A/S. *EPD - 25 mm Troldektplader MD-15005-DA*. 2015. URL: [www.epddanmark.dk](http://www.epddanmark.dk).
- [3] Betonelement-Foreningen. *EPD - Letbetonelementer MD-20016-DA*. 2020. URL: [www.epddanmark.dk](http://www.epddanmark.dk).
- [4] PU Europe. *EPD - PU insulation foam without facing*. 2014. URL: [www.pu-europe.eu](http://www.pu-europe.eu).
- [5] Dansk Beton Fabrikbetonforeningen. *EPD - Beton styrkeklasse C25/30 MD-20011-DA*. 2020. URL: [www.epddanmark.dk](http://www.epddanmark.dk).
- [6] Træ.dk c/o Møbelindustrien. *EPD - Konstruktionstræ MD-20002-EN*. 2020. URL: [www.epddanmark.dk](http://www.epddanmark.dk).





# A Appendiks

## A.1 Inventoryliste fra LCAbyg 3.2

Bygningsdele		Hele bygningen		-	-	890,684 kg	-
Bygningsbasis	Hovedgruppe	-	-	-	-	426,447 kg	-
Fundament	Type	-	-	-	-	326,606 kg	-
Punktfundament vægsøjle	Bygningsdel	28 stk.	-	-	-	897 kg	-
He120b	Konstruktion	-	-	-	-	897 kg	-
Stålprofil	Byggevarer	32.04 kg/stk.	897.12 kg	-	-	897 kg	120 år
Skillevægfundament	Bygningsdel	36.5 m	-	-	-	486 kg	-
Leca	Konstruktion	-	-	-	-	486 kg	-
Letklinkbeton, bagmur	Byggevarer	0.02 m <sup>3</sup> /m	0.69 m <sup>3</sup>	-	-	486 kg	120 år
Sundolit isolering	Bygningsdel	475 m <sup>2</sup>	-	-	-	152 kg	-
Sundolit	Konstruktion	-	-	-	-	152 kg	-
Isolering XPS	Byggevarer	0.01 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	4.75 m <sup>3</sup>	-	-	152 kg	120 år
Randfundament	Bygningsdel	184 m	-	-	-	105,268 kg	-
Randfundament (iflg. Revit model)	Konstruktion	-	-	-	-	105,268 kg	-
Letklinkeløkk, massiv - EPD danmark	Byggevarer	0.04 m <sup>3</sup> /m	8.1 m <sup>3</sup>	-	-	4,858 kg	60 år
Beton C30/37 - EPD danmark	Byggevarer	0.15 m <sup>3</sup> /m	27.6 m <sup>3</sup>	-	-	62,238 kg	120 år
Beton C30/37 Fundablok	Byggevarer	0.09 m <sup>3</sup> /m	16.93 m <sup>3</sup>	-	-	38,173 kg	120 år
Kanalbund - EPD danmark	Bygningsdel	970 m <sup>2</sup>	-	-	-	219,802 kg	-
Flydebeton	Konstruktion	-	-	-	-	219,802 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	97 m <sup>3</sup>	-	-	217,862 kg	120 år
Stål, armeringsstål	Byggevarer	2 kg/m <sup>2</sup>	1,940 kg	-	-	1,940 kg	120 år
Terrændæk	Type	-	-	-	-	99,842 kg	-
Grovbeton - gang	Bygningsdel	550 m <sup>2</sup>	-	-	-	99,842 kg	-
Grovbeton	Konstruktion	-	-	-	-	99,842 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark kopi 2	Byggevarer	0.08 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	44 m <sup>3</sup>	-	-	98,824 kg	120 år
EPS isolering (Styrofoam ®) til lofter / gulve og som kantisolering B / P-040	Byggevarer	0.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	55 m <sup>3</sup>	-	-	1,018 kg	80 år
Primære bygningsdele	Hovedgruppe	-	-	-	-	441,924 kg	-
Ydervæg	Type	-	-	-	-	160,207 kg	-
Galvbeklædning stål	Bygningsdel	120 m <sup>2</sup>	-	-	-	936 kg	-
Gavlplade stål	Konstruktion	-	-	-	-	936 kg	-
Stålplade (20 mu.m-galvaniseret)	Byggevarer	7.8 kg/m <sup>2</sup>	936 kg	-	-	936 kg	40 år
Facade, Beton-PU-Beton	Bygningsdel	429 m <sup>2</sup>	-	-	-	159,271 kg	-
Beton C25/30 med 100 mm PU skum - EPD danmark	Konstruktion	-	-	-	-	159,271 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	42.9 m <sup>3</sup>	-	-	96,353 kg	100 år
PU-insulation	Byggevarer	0.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	42.9 m <sup>3</sup>	-	-	1,330 kg	50 år
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.06 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	25.74 m <sup>3</sup>	-	-	57,812 kg	100 år
Stål, armeringsstål_bruger	Byggevarer	8.8 kg/m <sup>2</sup>	3,775.2 kg	-	-	3,775 kg	100 år
Indervæg	Type	-	-	-	-	130,203 kg	-
Kanalvæg 8	Bygningsdel	293 m	-	-	-	23,691 kg	-
Kanalvæg 8	Konstruktion	-	-	-	-	23,691 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.04 m <sup>3</sup> /m	10.55 m <sup>3</sup>	-	-	23,691 kg	100 år
Kanalvæg 13	Bygningsdel	209 m	-	-	-	27,461 kg	-
Kanalvæg 13	Konstruktion	-	-	-	-	27,461 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.06 m <sup>3</sup> /m	12.23 m <sup>3</sup>	-	-	27,461 kg	100 år
Kanalvæg 17	Bygningsdel	38 m	-	-	-	6,529 kg	-
Kanalvæg 17	Konstruktion	-	-	-	-	6,529 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.08 m <sup>3</sup> /m	2.91 m <sup>3</sup>	-	-	6,529 kg	100 år
Kanalvæg 27	Bygningsdel	9.5 m	-	-	-	2,592 kg	-
Beton 25 styrke	Konstruktion	-	-	-	-	2,592 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.12 m <sup>3</sup> /m	1.15 m <sup>3</sup>	-	-	2,592 kg	100 år
Beton skillevæg 100 mm (Letbeton-vægelement)	Bygningsdel	433 m <sup>2</sup>	-	-	-	69,930 kg	-
Letbeton-vægelement - EPD danmark	Konstruktion	-	-	-	-	69,930 kg	-
Letbeton-vægelement - EPD danmark	Byggevarer	1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	433 m <sup>2</sup>	-	-	69,930 kg	100 år
Dæk	Type	-	-	-	-	108,981 kg	-
Svinespalte	Bygningsdel	624 stk.	-	-	-	108,981 kg	-
Svinespalte	Konstruktion	-	-	-	-	108,981 kg	-
Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	0.08 m <sup>3</sup> /stk.	48.52 m <sup>3</sup>	-	-	108,981 kg	120 år

Figur A.1: Inventoryliste fra LCAbyg 3.2, del 1

Tag	Type	-	-	42,534 kg	-
Lægter - tagflade	Bygningsdel	39 stk.	-	3,201 kg	-
Træ lægter	Konstruktion	-	-	3,201 kg	-
Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevare	0.18 m <sup>2</sup> /stk.	7.02 m <sup>3</sup>	3,201 kg	100 år
Vindbrædder	Bygningsdel	135 m	-	400 kg	-
Vindbrædder	Konstruktion	-	-	400 kg	-
Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevare	0.01 m <sup>2</sup> /m	0.88 m <sup>3</sup>	400 kg	50 år
Vindskele til eternittag	Bygningsdel	56 m	-	28 kg	-
Vindskele til eternittag	Konstruktion	-	-	28 kg	-
Ståtplade (0,3-3,0mm)	Byggevare	0.51 kg/m	28.39 kg	28 kg	40 år
Eternit rygningplader	Bygningsdel	67.5 m	-	349 kg	-
Rygning	Konstruktion	-	-	349 kg	-
Cembit_B9 - EPD danmark	Byggevare	0 m <sup>2</sup> /m	0.22 m <sup>3</sup>	349 kg	100 år
Isolering diffus	Bygningsdel	1,715 m <sup>2</sup>	-	5,145 kg	-
Isolering diffus	Konstruktion	-	-	5,145 kg	-
Mineraluld, skråtag	Byggevare	0.1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	171.5 m <sup>3</sup>	5,145 kg	50 år
Gangbro krydsfiner	Bygningsdel	66 m	-	400 kg	-
Gangbro	Konstruktion	-	-	400 kg	-
Krydsfiner	Byggevare	0.01 m <sup>2</sup> /m	0.86 m <sup>3</sup>	400 kg	80 år
Cembit B9	Bygningsdel	1,873 m <sup>2</sup>	-	17,868 kg	-
Fibercementplader - Cembit B9	Konstruktion	-	-	17,868 kg	-
Cembit_B9 - EPD danmark	Byggevare	0.01 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	11.24 m <sup>3</sup>	17,868 kg	100 år
Gitterbjælker_tagkonstruktion	Bygningsdel	5 stk.	-	1,644 kg	-
Gitterbjælke	Konstruktion	-	-	1,644 kg	-
Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevare	0.72 m <sup>2</sup> /stk.	3.6 m <sup>3</sup>	1,644 kg	120 år
Tag spær	Bygningsdel	68 stk.	-	12,713 kg	-
Træ spær	Konstruktion	-	-	12,713 kg	-
Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevare	0.41 m <sup>2</sup> /stk.	27.88 m <sup>3</sup>	12,713 kg	120 år
Gitterbjælke	Bygningsdel	1 stk.	-	786 kg	-
Gitterbjælke træ	Konstruktion	-	-	786 kg	-
Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevare	1.72 m <sup>2</sup> /stk.	1.72 m <sup>3</sup>	786 kg	120 år
Komplettering	Hovedgruppe	-	-	20,644 kg	-
Vinduer	Type	-	-	2,111 kg	-
Rustfri sålbænk	Bygningsdel	36 stk.	-	17 kg	-
Sålbænk	Konstruktion	-	-	17 kg	-
Ståtplade (0,3-3,0mm)	Byggevare	0.49 kg/stk.	17.5 kg	17 kg	50 år
Staldvindue	Bygningsdel	52 stk.	-	2,094 kg	-
Stald vindue	Konstruktion	-	-	2,094 kg	-
Vindue, Glas element F 100	Byggevare	0.55 m <sup>2</sup> /stk.	28.75 m <sup>2</sup>	2,072 kg	50 år
Vinduesprofil, ramme, alu. pulverlak.	Byggevare	0.42 kg/stk.	21.78 kg	22 kg	50 år
Ydervæg komplettering	Type	-	-	1,007 kg	-
Plastdør	Bygningsdel	18 stk.	-	882 kg	-
Dør	Konstruktion	-	-	882 kg	-
Dør, sektiondør_PU_HM	Byggevare	2.3 m <sup>2</sup> /stk.	41.4 m <sup>2</sup>	882 kg	50 år
Ståldør	Bygningsdel	2 stk.	-	126 kg	-
Dør stål	Konstruktion	-	-	126 kg	-
Dør, Branddør_T60, ASX	Byggevare	2.3 m <sup>2</sup> /stk.	4.6 m <sup>2</sup>	126 kg	50 år
Gulv	Type	-	-	890 kg	-
*Forskalling inkl. olie og reng.	Bygningsdel	100 m <sup>2</sup>	-	890 kg	-
Trægulv	Konstruktion	-	-	890 kg	-
Trægulv, flerlags laminat, 10-12 mm	Byggevare	1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	890 kg	50 år
Loft	Type	-	-	16,636 kg	-
Træbetonloft (troidtekt)	Bygningsdel	1,715 m <sup>2</sup>	-	16,636 kg	-
Træbetonloft - EPD danmark	Konstruktion	-	-	16,636 kg	-
Træbetonloft - forbrænding	Byggevare	0.5 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	857.5 m <sup>2</sup>	8,318 kg	50 år
Træbetonloft - deponi	Byggevare	0.5 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	857.5 m <sup>2</sup>	8,318 kg	50 år
Installationer	Hovedgruppe	-	-	1,669 kg	-
Varme	Type	-	-	133 kg	-
Varmeslange u. isolering	Bygningsdel	1,024 m	-	113 kg	-
Varmeslange u. isolering	Konstruktion	-	-	113 kg	-
Rør, Brugsvandsrør, PEX	Byggevare	0.11 kg/m	112.64 kg	113 kg	40 år
Varmeslanger m. isolering	Bygningsdel	100 m	-	20 kg	-
Varmeslange m. isolering	Konstruktion	-	-	20 kg	-
Rør, Brugsvandsrør, Alu-PEX	Byggevare	0.2 kg/m	20 kg	20 kg	40 år
Andet	Type	-	-	1,536 kg	-
Ribbearmering vandret og lodret	Bygningsdel	120 m	-	1,536 kg	-
Amering	Konstruktion	-	-	1,536 kg	-
Stål, armeringsstål	Byggevare	12.8 kg/m	1,536 kg	1,536 kg	80 år

Figur A.2: Inventoryliste fra LCAByg 3.2, del 2

## A.2 LCA-resultater for øvrige miljøpåvirkningskategorier

Der præsenteres resultaterne for miljøpåvirkningskategorier, hvor *mindst én bygningsdel har en normaliseret udledning på mindst 1 person-ækvivalenter*. Øvrige kategorier er udeladt.

## A.3 LCAByg rapport

Følgende er den generede rapport af LCAByg 3.2 over Totalstalden.

# totalstalden - gråkjær - vm januar 2021 v2



## Miljø profil

Miljøvej 99, 9999 Fremtidsbyen

SBi

Bygningstype: Andet

Opvarmet etageareal: 1,715 m<sup>2</sup>

Samlet brutto etageareal: 1,715 m<sup>2</sup>

Start år: 2020

Betragtningsperiode: 40 år

Energiforbrug - el: 46 kWh/m<sup>2</sup> år

Energiforbrug - varme: 0 kWh/m<sup>2</sup> år

Drift varmforsyning: El

Drift scenarie: Fremskrivning 2015-2050

Nærmere beskrivelse af bygningen: Betragtningsperiode er sat ift bygningenslevetid på 40 år jf. Sbi 2013:03  
Areal stammer fra tegningsmateriale/revit model (3073-THAND-Kim Heiselberg)

## SAMLET RESULTAT - BYGNINGSDELE OG DRIFT

Fordelt på 9 indikatorer\* samt individuelle indikatorresultater fordelt på henholdsvis bygningsdele(B) og drift(D)

NB. De individuelle indikatorresultater kan ikke sammenlignes på tværs, da hver indikator har forskellig enhed.

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Drift(D)	3,066	0,114 x 10 <sup>-9</sup>	0,007	0,033	0,009	0,001 x 10 <sup>-3</sup>	29,618	63,432	3,262
Bygningsdele(B)	2,507	0,128 x 10 <sup>-6</sup>	0,764 x 10 <sup>-3</sup>	0,005	0,001	0,007 x 10 <sup>-3</sup>	18,456	7,587	0,006
Sum	5,573	0,128 x 10 <sup>-6</sup>	0,008	0,039	0,010	0,008 x 10 <sup>-3</sup>	48,074	71,019	3,267

## HOVEDRESULTATER - BYGNINGSDELE

Fordelt på 9 indikatorer\* samt individuelle indikatorresultater fordelt på følgende hovedkategorier:

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg R11 eq/m <sup>2</sup> år	kg Ethene eq/m <sup>2</sup> år	kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> år	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq/m <sup>2</sup> år	kg Sb eq/m <sup>2</sup> år	MJ/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år	kWh/m <sup>2</sup> år
Bygningsbasis (B)	0,867	0,009 x 10 <sup>-6</sup>	0,433 x 10 <sup>-3</sup>	0,001	0,498 x 10 <sup>-3</sup>	0,153 x 10 <sup>-6</sup>	5,382	1,662	0,646 x 10 <sup>-3</sup>
Primære bygningsdele (P)	1,202	0,117 x 10 <sup>-6</sup>	0,226 x 10 <sup>-3</sup>	0,003	0,786 x 10 <sup>-3</sup>	0,005 x 10 <sup>-3</sup>	9,396	3,972	0,003
Komplettering (K)	0,404	0,002 x 10 <sup>-6</sup>	0,098 x 10 <sup>-3</sup>	0,864 x 10 <sup>-3</sup>	0,172 x 10 <sup>-3</sup>	0,002 x 10 <sup>-3</sup>	3,261	1,804	0,002
Installationer (I)	0,033	0,002 x 10 <sup>-9</sup>	0,007 x 10 <sup>-3</sup>	0,060 x 10 <sup>-3</sup>	0,006 x 10 <sup>-3</sup>	0,007 x 10 <sup>-6</sup>	0,417	0,149	0

\*De 9 indikatorer

- GWP: Global Warming Potential – Global opvarmning
- ODP: Ozone Depletion Potential – Ozonnedbrydning
- POCP: Photochemical Ozone Creation Potential – Fotokemisk Ozondannelse
- AP: Acidification Potential – Forsuring
- EP: Eutrophication Potential – Næringssaltbelastning

- ADPe: Abiotic Depletion Potential, Elements – Abiotisk ressourceudtømning, grundstoffer
- ADPf: Abiotic Depletion Potential, Fossil fuel – Abiotisk ressourceudtømning, fossil
- PEtot: Primary Energy – Primærenergi, samlet tal for primærenergi fossil og vedvarende
- Sek: Secondary Energy – Sekundære brændsler, samlet tal for sekundærenergi fossil og vedvarende

Formålet med studiet

At opbygge en baseline for Totalstalden.

Systemafgrænsning - Inkluderet i vurderingen

Konstruktion	Overflader	Teknik og anlæg
✓ Bygningsbasis	✓ Udvendige	✓ Sanitet
✓ Etagedæk	✓ Indvendige	✓ Afløb
✓ Ydervægge		✓ Køling
✓ Indervægge		✓ Vand - centrale anlæg
✓ Tag		✓ Vand - fordeling
✓ Søjler/bjælker		✓ Varme - centrale anlæg
✓ Døre		✓ Varme - fordeling
✓ Vinduer		✓ Ventilation - centrale anlæg
✓ Loft		✓ Ventilation - fordeling
✓ Gulv		✓ Kabler/ledninger
✓ Trapper/ramper		✓ Elevatorer
Andet		

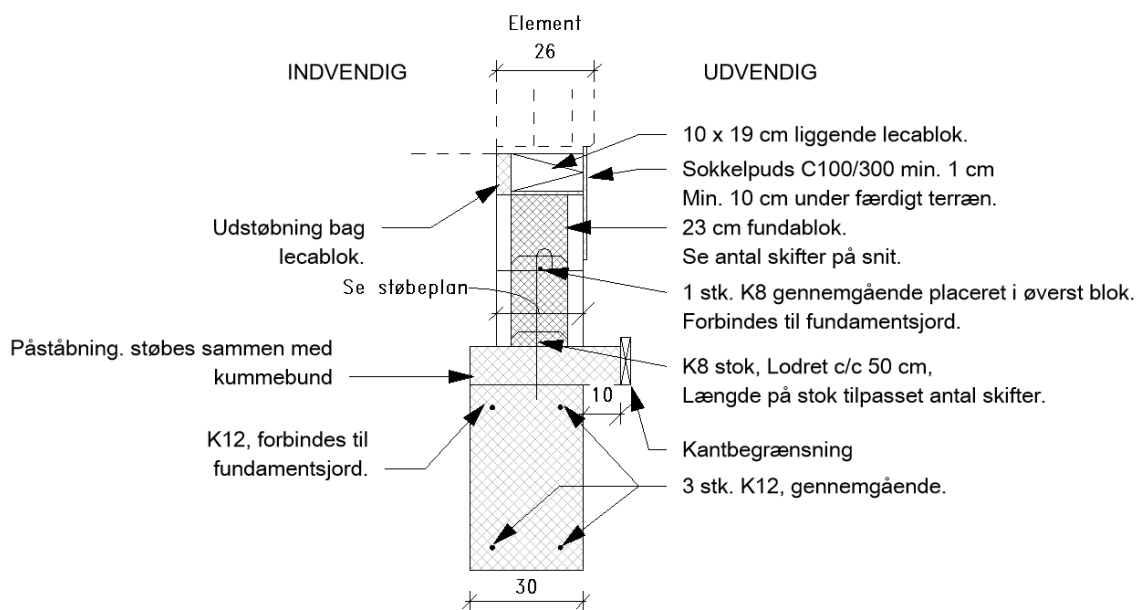
Bygningsdele

Navn	Beskrivelse	Mængde	Vægt	Levetid
Punktfundament vægspøje	Bygningsdel	28 stk.	897.12 kg	-
→ Stålsprofil	Byggevarer	897.12 kg	897.12 kg	120 år
Skillevægfundament	Bygningsdel	36.5 m	486.14 kg	-
→ Letklynkebeton, bagmur	Byggevarer	0.69 m³	486.14 kg	120 år
Sundolit isolering	Bygningsdel	475 m²	152.00 kg	-
→ Isolering XPS	Byggevarer	4.75 m³	152.00 kg	120 år
Randfundament - EPD danmark	Bygningsdel	184 m	105,268.24 kg	-
→ Letklynkeblok, massiv - EPD danmark	Byggevarer	8.1 m³	4,857.60 kg	60 år
→ Beton C30/37 - EPD danmark	Byggevarer	27.6 m³	62,238.00 kg	120 år
→ Beton C30/37 Fundablok	Byggevarer	16.93 m³	38,172.64 kg	120 år
Kanalbund - EPD danmark	Bygningsdel	970 m²	219,802.00 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark_	Byggevarer	97 m³	217,862.00 kg	120 år
→ Stål, armeringsstål_	Byggevarer	1,940 kg	1,940.00 kg	120 år
Grovbeton, gang - EPD danmark	Bygningsdel	550 m²	99,841.50 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark_	Byggevarer	44 m³	98,824.00 kg	120 år
→ EPS isolering (Styrofoam®) til lofter / gulve og som kantisolering B / P-040	Byggevarer	55 m³	1,017.50 kg	80 år
Galvbeklædning stål	Bygningsdel	120 m²	936.00 kg	-
→ Stålsplade (20 .mu.m-galvaniseret)	Byggevarer	936 kg	936.00 kg	40 år
Facade, Beton-PU-Beton - EPD danmark	Bygningsdel	429 m²	159,270.54 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	42.9 m³	96,353.40 kg	100 år
→ PU-insulation	Byggevarer	42.9 m³	1,329.90 kg	50 år
→ Beton C25/30 - EPD danmark _	Byggevarer	25.74 m³	57,812.04 kg	100 år
→ Stål, armeringsstål_bruger	Byggevarer	3,775.2 kg	3,775.20 kg	100 år
Kanalvæg 8	Bygningsdel	293 m	23,690.81 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	10.55 m³	23,690.81 kg	100 år
Kanalvæg 13	Bygningsdel	209 m	27,460.72 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark _	Byggevarer	12.23 m³	27,460.72 kg	100 år
Kanalvæg 17	Bygningsdel	38 m	6,529.12 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark _	Byggevarer	2.91 m³	6,529.12 kg	100 år
Kanalvæg 27	Bygningsdel	9.5 m	2,592.45 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark _	Byggevarer	1.15 m³	2,592.45 kg	100 år
Beton skillevæg 100 mm (Letbeton-vægelement) - EPD danmark	Bygningsdel	433 m²	69,929.50 kg	-
→ Letbeton-vægelement - EPD danmark	Byggevarer	433 m²	69,929.50 kg	100 år
Svinespalte - EPD danmark	Bygningsdel	624 stk.	108,980.95 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	48.52 m³	108,980.95 kg	120 år
Lægter - tagflade	Bygningsdel	39 stk.	3,201.12 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevarer	7.02 m³	3,201.12 kg	100 år
Vindbrædder	Bygningsdel	135 m	400.14 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevarer	0.88 m³	400.14 kg	50 år
Vindskede til eternittag	Bygningsdel	56 m	28.39 kg	-
→ Stålsplade (0,3-3,0mm)	Byggevarer	28.39 kg	28.39 kg	40 år
Eternit rygningplader	Bygningsdel	67.5 m	348.81 kg	-
→ Cembrit_B9 - EPD danmark	Byggevarer	0.22 m³	348.81 kg	100 år
Isolering diffus	Bygningsdel	1,715 m²	5,145.00 kg	-
→ Mineraluld, skråtag	Byggevarer	171.5 m³	5,145.00 kg	50 år
Gangbro krydsfiner	Bygningsdel	66 m	399.57 kg	-
→ Krydsfinér	Byggevarer	0.86 m³	399.57 kg	80 år
Cembit B9 - EPD danmark	Bygningsdel	1,873 m²	17,868.42 kg	-
→ Cembit_B9 - EPD danmark	Byggevarer	11.24 m³	17,868.42 kg	100 år
Gitterbjælker_tagkonstruktion	Bygningsdel	5 stk.	1,643.88 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevarer	3.6 m³	1,643.88 kg	120 år

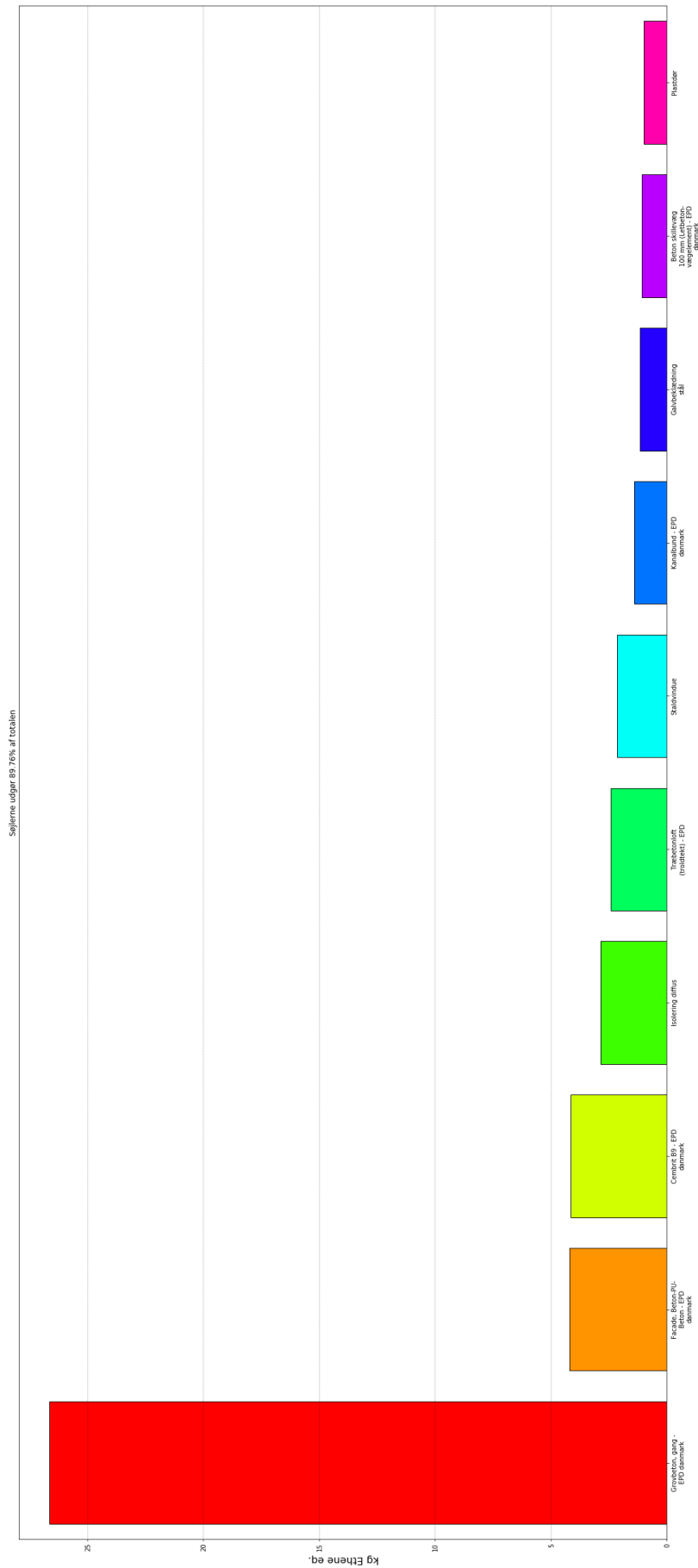
Tag spær	Bygningsdel	68 stk.	12,713.28 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark_	Byggevarer	27.88 m³	12,713.28 kg	120 år
Gitterbjælke	Bygningsdel	1 stk.	785.51 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark_	Byggevarer	1.72 m³	785.51 kg	120 år
Rustfri sålbænk	Bygningsdel	36 stk.	17.50 kg	-
→ Stålblade (0,3-3,0mm)	Byggevarer	17.5 kg	17.50 kg	50 år
Staldvindue	Bygningsdel	52 stk.	2,093.56 kg	-
→ Vindue, Glas element F 100	Byggevarer	28.75 m²	2,071.78 kg	50 år
→ Vinduesprofil, ramme, alu. pulverlak.	Byggevarer	21.78 kg	21.78 kg	50 år
Plastdør	Bygningsdel	18 stk.	881.82 kg	-
→ Dør, sektiondør_PU_HM	Byggevarer	41.4 m²	881.82 kg	50 år
Ståldør	Bygningsdel	2 stk.	125.63 kg	-
→ Dør, Branddør_T60, ASX	Byggevarer	4.6 m²	125.63 kg	50 år
*Forskalling inkl. olie og reng.	Bygningsdel	100 m²	890.00 kg	-
→ Trægulv, flerlags laminat, 10-12 mm	Byggevarer	100 m²	890.00 kg	50 år
Træbetonloft (troidtekt) - EPD	Bygningsdel	1,715 m²	16,635.50 kg	-
→ Træbetonloft - forbrænding	Byggevarer	857.5 m²	8,317.75 kg	50 år
→ Træbetonloft - deponi	Byggevarer	857.5 m²	8,317.75 kg	50 år
Varmeslange u. isolering	Bygningsdel	1,024 m	112.64 kg	-
→ Rør, Brugsvandsrør, PEX	Byggevarer	112.64 kg	112.64 kg	40 år
Varmeslanger m. isolering	Bygningsdel	100 m	20.00 kg	-
→ Rør, Brugsvandsrør, Alu-PEX	Byggevarer	20 kg	20.00 kg	40 år
Ribbearmering vandret og lodret	Bygningsdel	120 m	1,536.00 kg	-
→ Stål, armeringsstål_	Byggevarer	1,536 kg	1,536.00 kg	80 år

Kanalelementer					
Antal	Type	L [cm]	Samlet længde	Vægt [Ton]	
				pr. Stk.	I alt
4	K08045	88	3,52 m	0,07	0,29
10	K08045	118	11,80 m	0,10	0,98
8	K08045	248	19,84 m	0,21	1,64
86	K08045	300	258,00 m	0,25	21,36
88	K13045	237	208,56 m	0,32	28,06
16	K17045	237	37,92 m	0,42	6,67
4	K27045	237	9,48 m	0,66	2,65
216			549,12 m		61,66

Tabel A.1: Udtræk fra Revit model med oversigt over mængder på forskellige kanalvægge

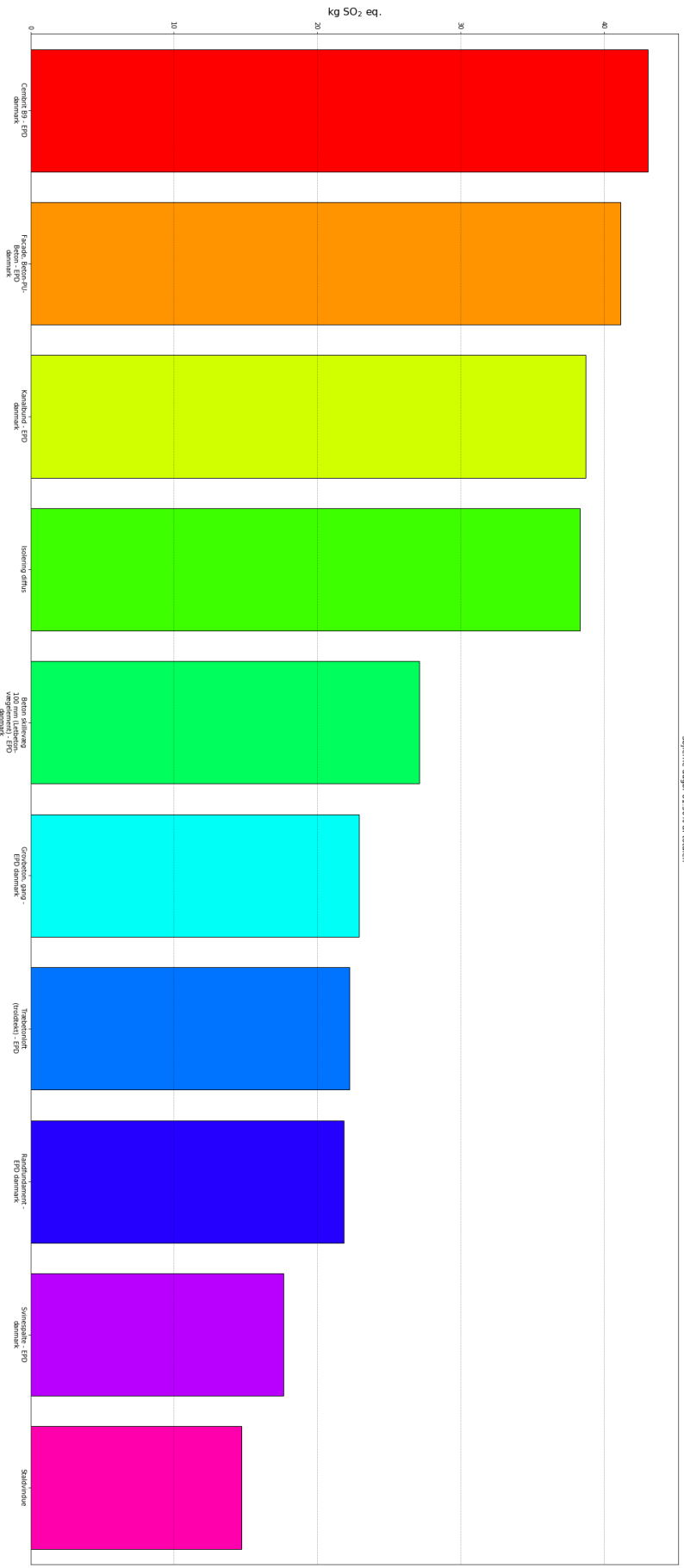


Figur A.3: Udtræk fra Revit model med oversigt over randfundamentet

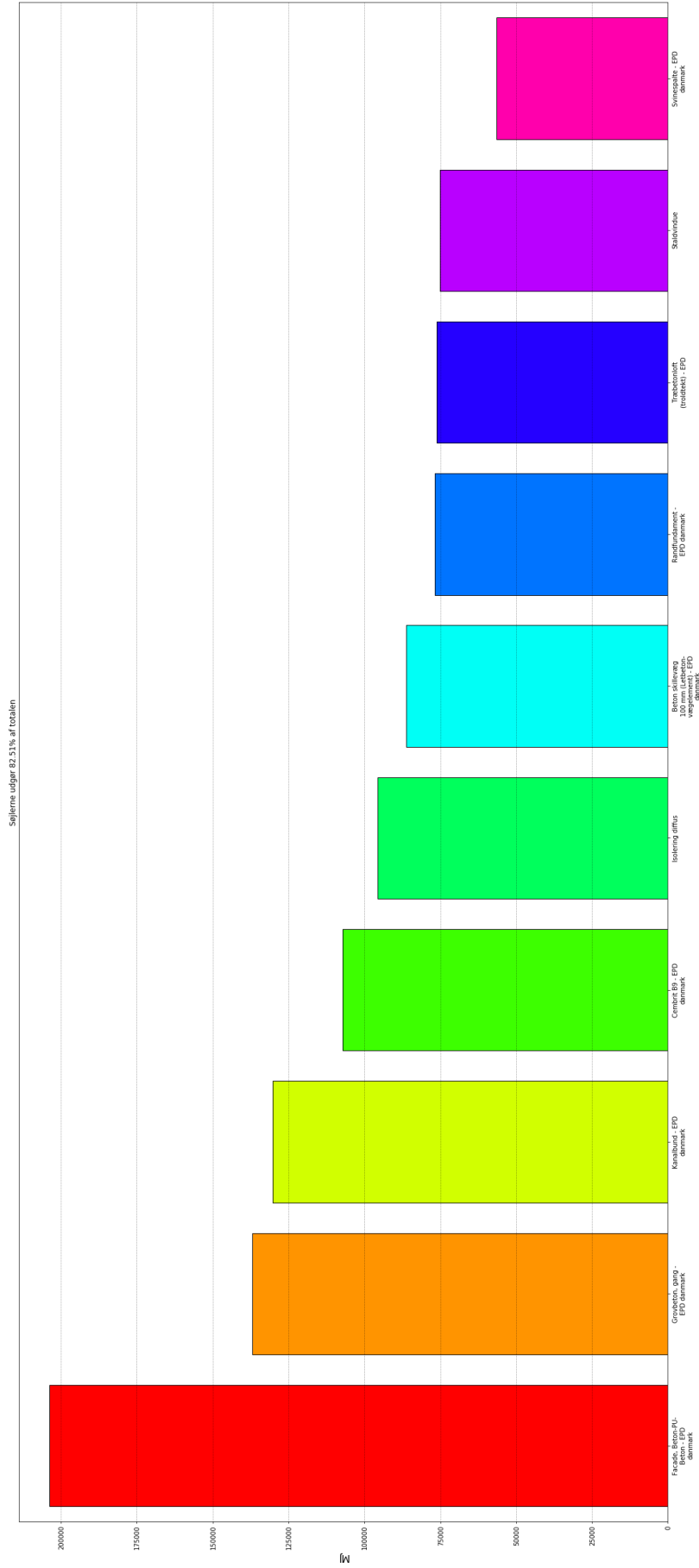


Figur A.4: Total for POCP – fotokemisk ozondannelse (sommersmog)

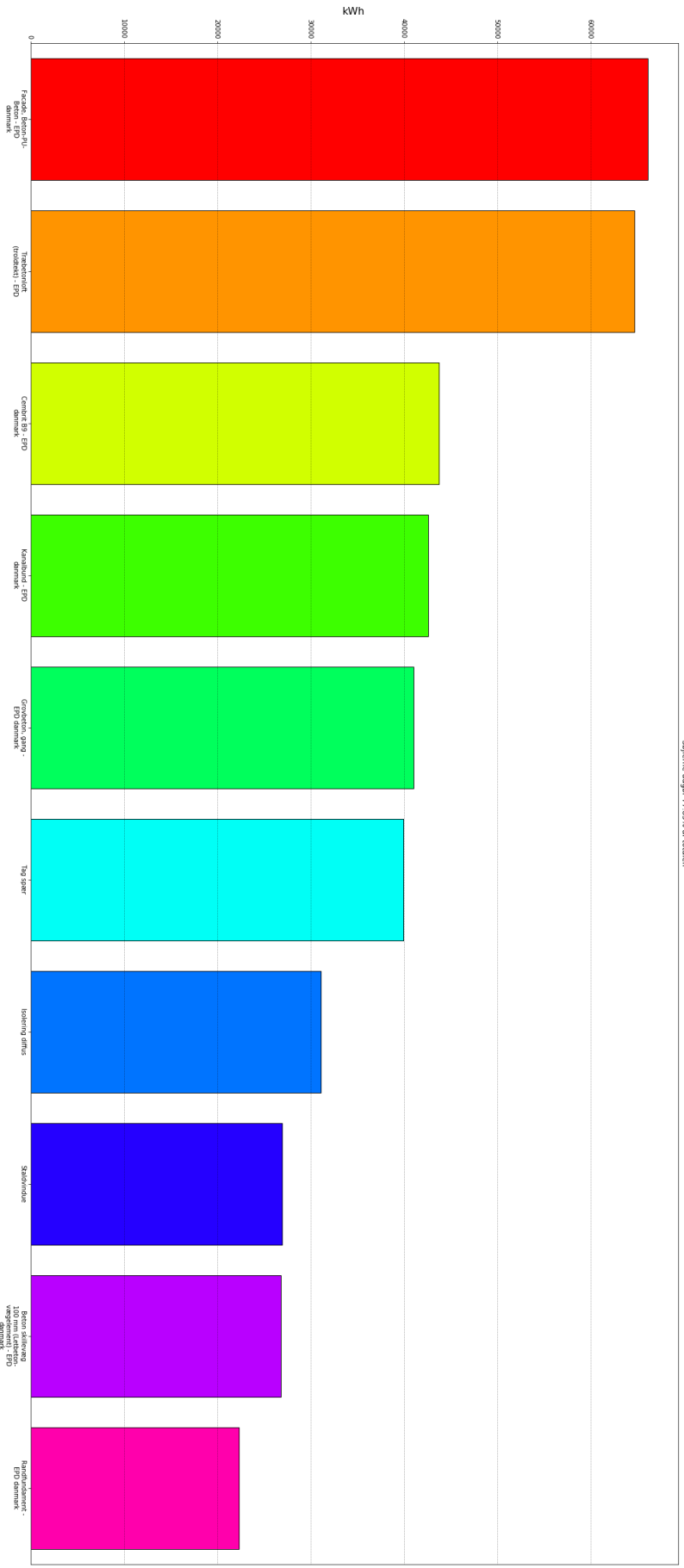




Figur A.5: Total for AP – forbrug



Figur A.6: Total for ADPf – udtømming af fossile ressourcer



Figur A.7: PETot – Primært Energiforbrug (totalt) i kWh

## **A.4 LCCbyg rapport**

Følgende er den generede rapport af LCCbyg 3.2 over Totalstalden.



## Totalstalden

Projekttype til certificering af kontorer efter 2016-manual. Udviklet for DK-GBC (Green Building Council Denmark)

*Nutidsværdien defineres som summen af de tilbagediskonterede fremtidige pengestrømme. Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden.*

*Årsomkostningen defineres som en annuitet af nutidsværdien. Årsomkostningen udtrykker hvor mange penge, der gennemsnitligt skal afsættes hvert år i beregningsperioden.*

### Beregningsforudsætninger for hvert alternativ

Navn	Standard
Kalkulationsrente	Ar 1: 5,0% Ar 36: 5,0% Ar 71: 5,0%
Prisudvikling generelt	2,0 %
Prisudvikling for drikkevand	4,0 %
Prisudvikling for spildevand	7,0 %
Prisudvikling for energi generelt	4,0 %
Prisudvikling for fjernvarme	3,0 %
Prisudvikling for gas	1,5 %
Prisudvikling for flydende brændsel	4,0 %
Prisudvikling for fast brændsel	3,0 %
Prisudvikling for el	3,5 %
Prisudvikling for skatter og afgifter	2,0 %
Prisudvikling for forsikring	5,0 %
Prisudvikling for administration	2,0 %

### Beregningsforudsætninger for hvert alternativ

Navn	Standard
Kalkulationsrente	Ar 1: 5,0% Ar 36: 5,0% Ar 71: 5,0%
Prisudvikling generelt	2,0 %
Prisudvikling for drikkevand	4,0 %
Prisudvikling for spildevand	7,0 %



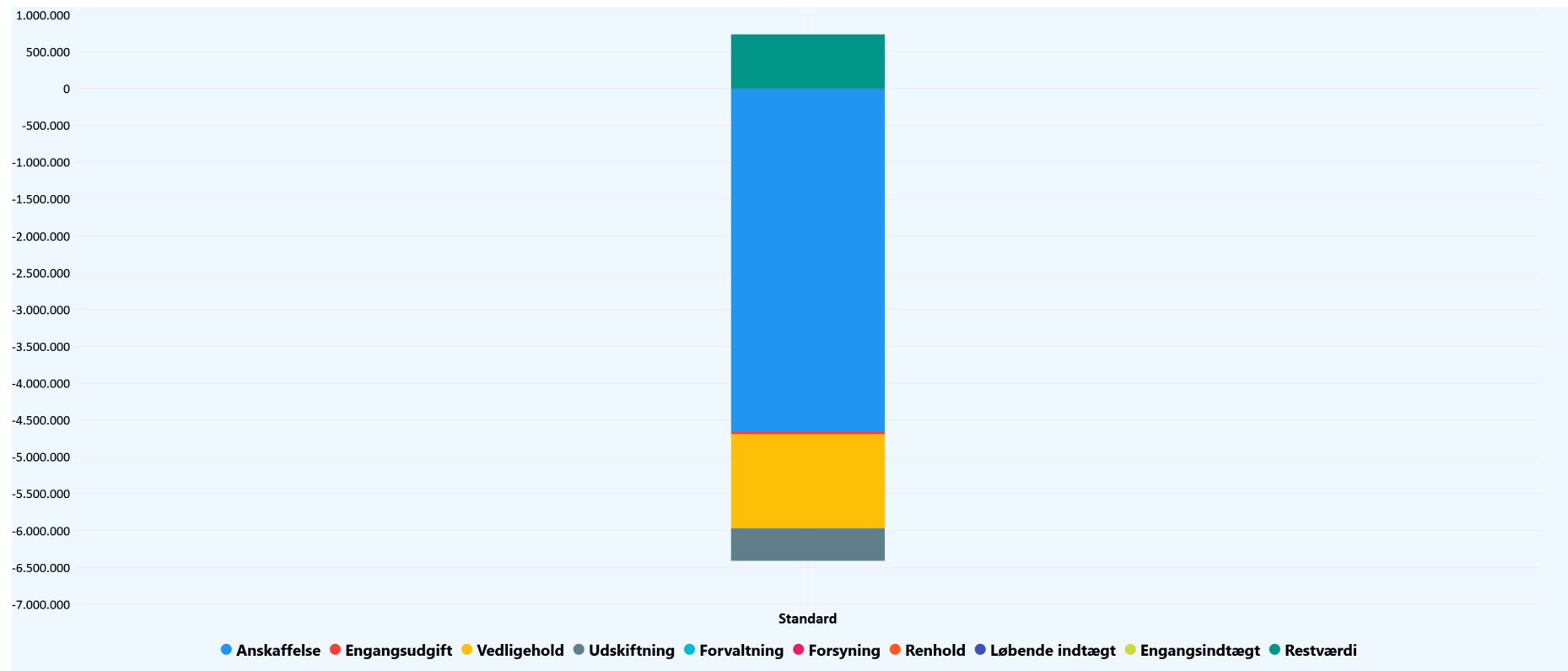
Prisudvikling for energi generelt	4,0 %
Prisudvikling for fjernvarme	3,0 %
Prisudvikling for gas	1,5 %
Prisudvikling for flydende brændsel	4,0 %
Prisudvikling for fast brændsel	3,0 %
Prisudvikling for el	3,5 %
Prisudvikling for skatter og afgifter	2,0 %
Prisudvikling for forsikring	5,0 %
Prisudvikling for administration	2,0 %

**Tabel med alternativernes hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi.**

Navn	Standard
Anskaffelse	-4.652.368
Engangsudgift	-41.541
Vedligehold	-1.274.982
Udskiftning	-441.525
Forvaltning	
Forsyning	
Renhold	
Løbende indtægt	
Engangsindtægt	
Nutidsværdi uden restværdi	-5.673.783
Restværdi	736.633
Nutidsværdi	



### Søjlediagram med alternativernes opsummerede omkostninger

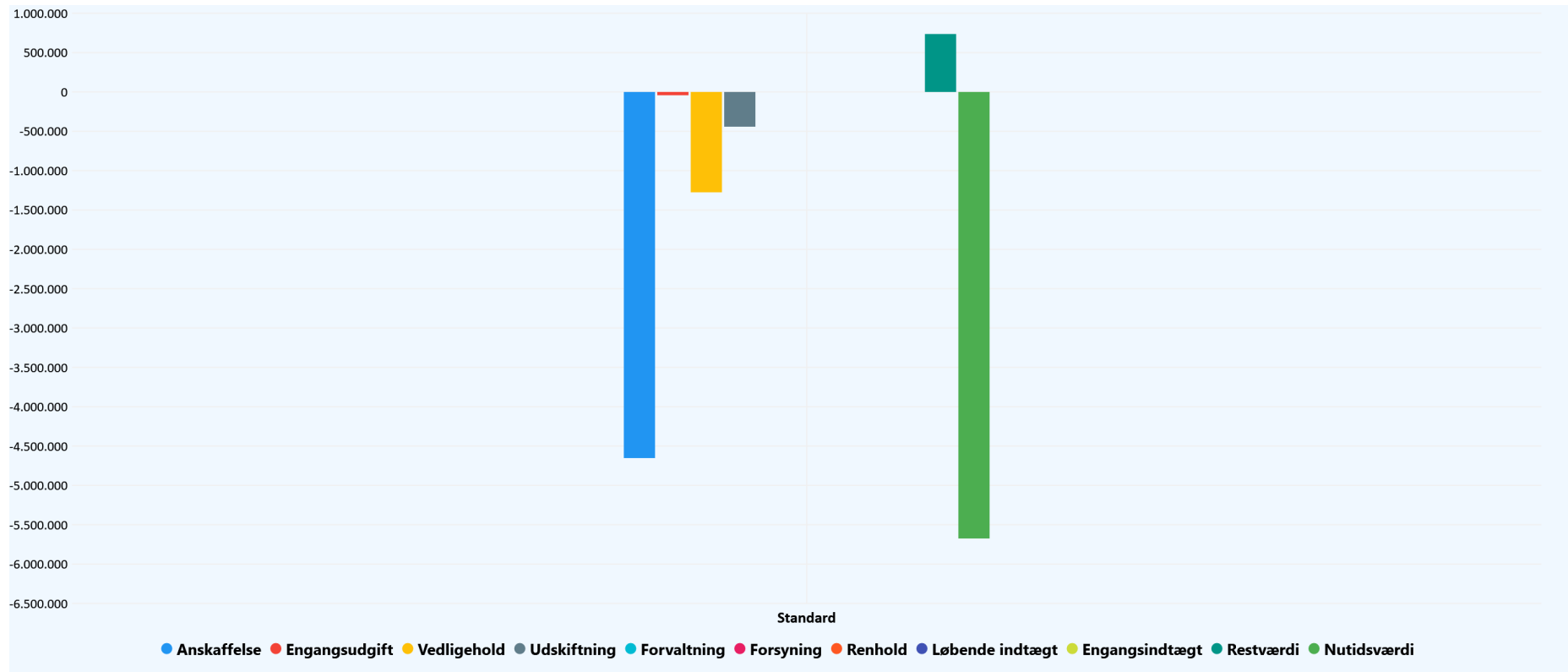




Nutidsværdien defineres som summen af de tilbagediskonterede fremtidige pengestrømme. Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden.

Årsomkostningen defineres som en annuitet af nutidsværdien. Årsomkostningen udtrykker hvor mange penge, der gennemsnitligt skal afsættes hvert år i beregningsperioden.

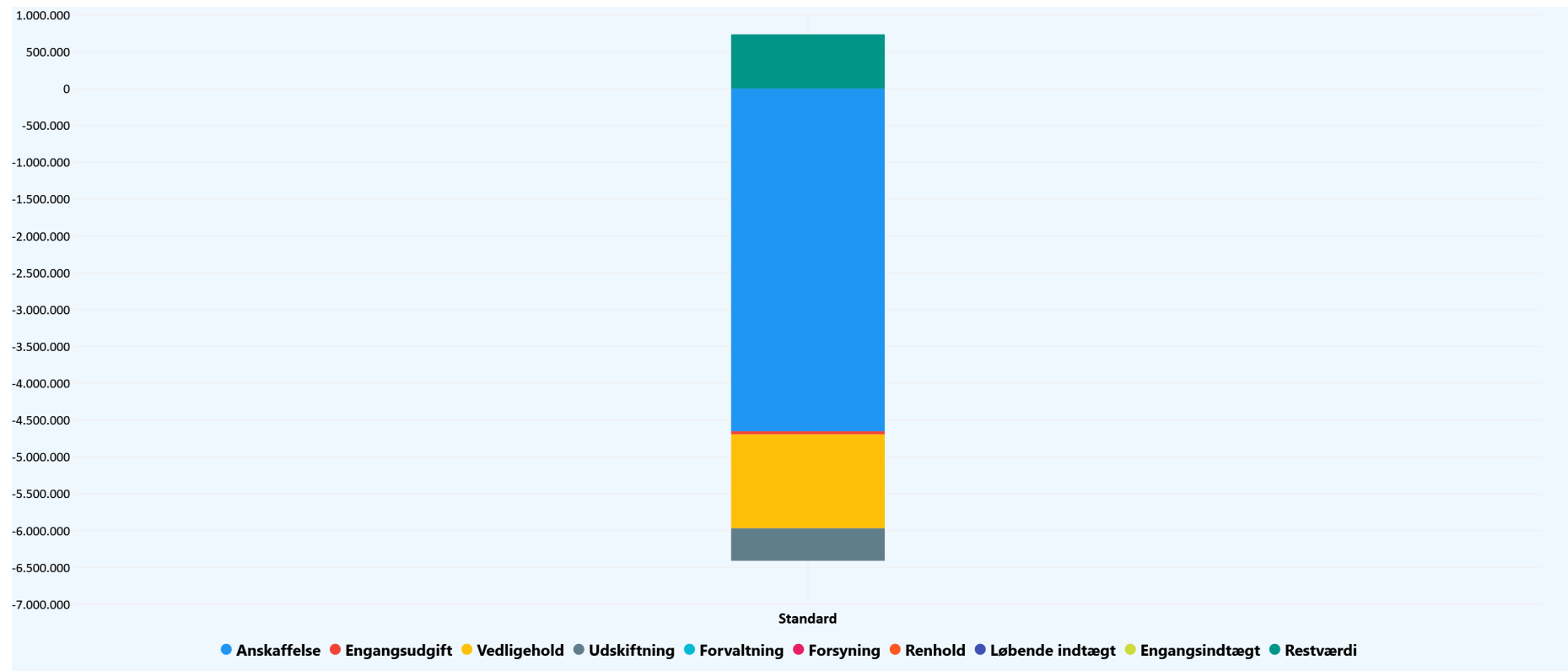
### Søjlediagram med alternativernes nutidsværdier







### Søjlediagram med alternativernes opsummerede omkostninger



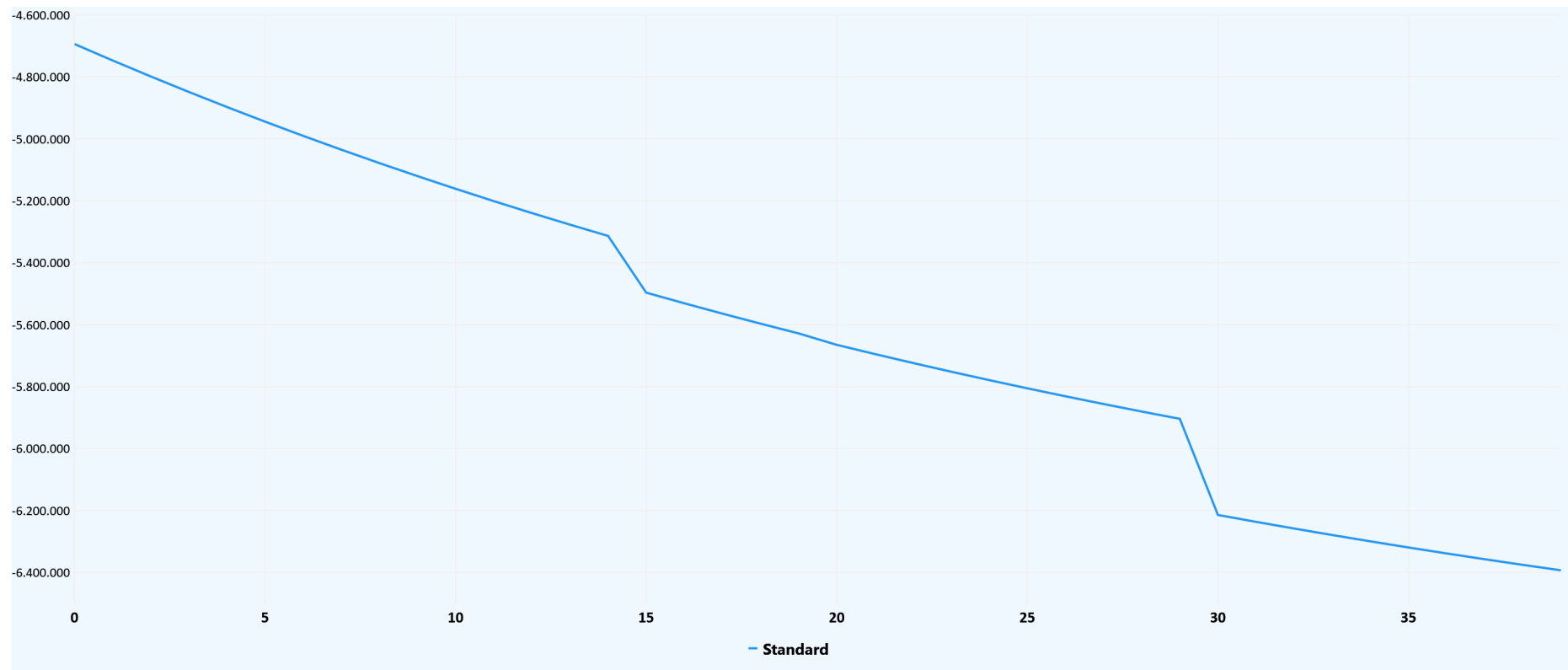


### Søjlediagram med sammenligning af nutidsværdi og restværdi





Graf med opsummerede nutidsværdier, uden restværdi



DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Denne rapport er fremstillet i LCCbyg 3.2.10



Technical  
University of  
Denmark

Brovej, Building 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Tlf. 4525 1700

[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)