

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Livscyklusvurdering (LCA) af de mest miljøbelastende bygningsdele i tre forskellige svinestalde og vurdering af potentialet ved design for adskillelse og direkte genanvendelse af udvalgte materialer

Rapport



DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Livscyklusvurdering (LCA) af de mest miljøbelastende bygningsdele i tre forskellige svinestalde og vurdering af potentialet ved design for adskillelse og direkte genanvendelse af udvalgte materialer

Rapport
Januar, 2021

Udarbejdet af
Mikkel Toke Brivio Volden

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

Published by: DTU, Department of Civil Engineering, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

Resumé

En dansk svinestald har typisk en levetid på blot 40 år inden den tages ud af drift. Derudover kræver den en stor mængde bygningsmaterialer for at blive opført, som alle bidrager med miljøpåvirkninger. Visse bygningskomponenter kan dog have en væsentligt længere levetid og dermed et potentiale for at blive genanvendt igen i en ny bygning. Der kan også være et miljømæssigt potentiale i at bruge alternative bygningsmaterialer – f.eks. CLT i stedet for beton.

En del af rapporten bruger resultater fra livscyklusanalyser (LCA) af udvalgte bygningsdele på en typisk dansk svinestald og sammenligner med alternative bygningskomponenter samt vurderer en alternativ staldtype.

Resultaterne viser, at den alternative staldtype, baseret på en stålramme-konstruktion, har højere miljøpåvirkninger end den svinestald der sammenlignes med, som er baseret på beton. Desuden findes der frem til et alternativt bygningsdesign, som i stedet for beton er baseret på CLT elementer. Denne designløsning gør det muligt at reducere de samlede miljøpåvirkninger fra svinestalden væsentligt.

En anden del af rapporten vurderer det miljømæssige potentiale for de tre staldtyper (beton, stål og CLT) igennem genanvendelses- og genbrugspotentialet af henholdsvis beton, stål og CLT. Derudover diskuteres det hvor godt de tre materialer egner sig til adskillelse efter bygningens levetid. Det viser sig, at der især for CLT og konstruktionsstål er et eksisterende potentiale for miljømæssige gevinster ved genanvendelse af materialerne efter endt levetid. Beton har nogle udfordringer mht. adskillelse og genanvendelse efter bygningens levetid – både ift. samlingsdetaljer og let tilgængelige, ikke-destruktive styrkevurderinger af materialet. Bl.a. af disse to grunde ender beton med at knuses og erstatte stabilgrus i vejfyld. Det medfører en væsentligt mindre indlejret miljøgevinst efter endt levetid for beton, sammenlignet med de to øvrige materialer.

Forkortelser

LCA	Livscyklusanalyse (Life Cycle Assessment)
GWP	Klimaforandringer (Global Warming Potential)
eq.	Ækvivalenter (Equivalents)
CLT	Krydslamineret massivtræ (Cross Laminated Timber)
EPD	Miljøvaredeklaration (Environmental Product Declaration)
FU	Funktionel enhed (Functional Unit)

Indhold

Resumé	ii
Forkortelser	iii
1 Formål med rapporten	1
1.1 Opbygning af rapporten	1
2 Metode	2
2.1 Metode for LCA	2
2.2 Beskrivelse af miljøpåvirkningskategorier	4
3 Baseline: Totalstalden	5
3.1 Totalstaldens opbygning	5
3.2 LCA-resultater og Hotspot fra Totalstalden	7
3.3 LCA-resultater fra Totalstalden på de udvalgte bygningsdele	11
4 Stålstalden	12
4.1 Stålstaldens opbygning	12
4.2 Bygningskomponenter og mængder	12
4.3 Bygningskomponenter til LCA-sammenligning	14
4.4 LCA-resultater fra Stålstalden	15
4.5 LCA-optimering af Stålstaldens bygningsdesign	17
4.6 Konklusion på LCA-resultaterne	19
4.7 Design for adskillelse	20
4.8 Konklusion af Stålstalden	22
5 Optimering af Totalstaldens design	23
5.1 Direkte genanvendelse af beton fra Totalstalden	24
5.2 Alternativt isoleringsmateriale	25
6 CLT-stalden	27
6.1 Opbygning af CLT-stalden	28
6.2 Bygningskomponenter og mængder	29
6.3 Bygningskomponenter til LCA-sammenligning	30
6.4 LCA-resultater for CLT-stalden	31
6.5 Sammenligning af LCA-resultater	32
6.6 LCA-optimering af CLT-stalden	33
6.7 Konklusion på LCA-resultater	35
6.8 Design for adskillelse	36
6.9 Konklusion på CLT-stalden	37
7 Samlede resultater og anbefalinger	38
7.1 Samlede resultater	38
7.2 Totalstalden	40
7.3 Stålstalden	41
7.4 CLT-stalden	42
Bibliography	43

A	Oversigt over EPD'er til LCA-beregninger	45
B	Levetider for bygningsdele, SBI 2013:30	46
C	Stålstalden	49
C.1	Oversigt over indtastede mængder i LCAbyg 3.2 for Stålstalden	52
D	Totalstalden	53
D.1	Oversigt over indtastede mængder i LCAbyg 3.2 for Totalstalden	53
D.2	LCAbyg rapport for Totalstalden	54
E	CLT-stalden	56
E.1	Oversigt over mængder på bygningsdele i LCAbyg 3.2 for CLT-stalden . . .	56

1 Formål med rapporten

Danske svinestalde har en typisk levetid på kun 40 år, hvilket er væsentligt lavere end for andre bygningstyper, som typisk ligger mellem 60 og 120 år (Aagaard m.fl. 2013). Det skaber nogle særlige udfordringer for byggemetoden, hvis miljøpåvirkningerne skal mindskes. Brugen af byggematerialer, som typisk vil have længere levetid end Svinestaldens forventede levetid på 40 år, vil ikke have udtjent deres levetid, medmindre de adskilles og bruges igen i et nyt byggeri.

Der kan dermed ligge et stort potentiale i at finde alternative løsninger til bygningsmaterialer, i forhold til hvad der typisk bliver brugt i svinestalde i dag, samt undersøge de potentielle, miljømæssige gevinster ved at genanvende egnede bygningskomponenter igen i opførelsen af en ny svinestald.

Sådanne løsninger skal naturligvis give mening i en større sammenhæng, både for entreprenøren og landmanden. Det betyder, at en alternativ løsning nødvendigvis skal kunne måle sig med en typisk staldbygning på flere parametre – både økonomisk og i forhold til bygbarhed, holdbarhed og robusthed for at være et relevant alternativ til hvordan svinestalde bygges i dag. Samtidig står vi over for store udfordringer i forhold til klimaforandringer, som gør det nødvendigt at finde nye løsninger inden for byggesektoren. Et relevant tiltag i kampen mod klimaforandringer, kunne netop være, at mindske miljøaftrykket fra svinestalde og øge muligheden for at genanvende dele af deres bygningskomponenter til opførelsen af nye svinestalde.

En samlet designløsning af en staldbygning, med mindre miljøbelastende byggematerialer og hvor dele af bygningen kan adskilles og bruges igen i en ny staldbygning, kan derfor have et stort potentiale til at forbedre svinestaldes bidrag til klimaforandringer.

Denne rapport bruger LCA-resultaterne af en typisk, dansk svinestald i beton fra rapporten "DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'" (Mahdi m.fl. 2021), som baseline til at sammenligne med alternative designforslag til udvalgte bygningskomponenter. Formålet er at finde frem til en løsning, som både har mindre miljøpåvirkning og hvor bygningskomponenterne har potentiale for "design for adskillelse"(c2ccertified.org 2017).

Formålet med rapporten er, at komme med konkrete designforslag til designet af en typisk dansk svinestald sådan, at det samlede bidrag til klimaforandringer mindskes og at udvalgte bygningskomponenter samtidig egner sig til at blive adskilt, og dele af konstruktionen dermed kan blive brugt igen i en ny staldbygning.

1.1 Opbygning af rapporten

Kapitel 3 gennemgår "Totalstaldens" opbygning, bygningsdele samt LCA-resultaterne som efterfølgende bruges som baseline. Kapitel 4, 5 og 6 behandler forskellige alternativer til- og mulige forbedringer af Totalstalden. Slutteligt sammenfattes og sammenlignes de fundne resultater i kapitel 7, hvor der også bliver præsenteret en række anbefalinger til de forskellige designforslag, som er blevet gennemgået i rapporten.

2 Metode

Denne rapport bruger LCA-beregninger til at vurdere forskellige design for Svinestalde og sammenligne dem med hinanden i forhold til miljøpåvirkninger. Der findes to standarder som beskriver principper og rammer (ISO 14040 ¹) samt krav og vejledning (ISO 14044 ²) for LCA'er.

Alle LCA-beregninger i denne rapport er foretaget i programmet LCAbyg 3.2 ³, som er et frit tilgængeligt program til LCA-beregninger, udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København, der følger den europæiske standard for udførelse af LCA på bygninger – DS/EN 15978 ⁴.

LCA-resultaterne fra rapporten *"DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejds-pakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'"* (Mahdi m.fl. 2021) fra DTU, som præsenterer LCA-beregninger for en svinestald, benyttes i denne rapport som baseline til sammenligning med alternative designforslag. For at begrænse omfanget er der udvalgt de seks mest betydningsfulde bygningsdele – terrændæk, loft, ydervæg, indervæg, tag, fundament – som er de eneste bygningsdele der vurderes i alle sammenligninger med baseline. Øvrige bygningsdele, som døre, vinduer, inventar i svinestalden etc. vurderes og sammenlignes således ikke i denne rapport.

2.1 Metode for LCA

2.1.1 Formål

Formålet med rapporten er at finde måder at nedbringe danske svinestaldes klimaaftryk, og der fokuseres således kun på klimaforandringer (GWP) når forskellige design sammenlignes med hinanden. Der bruges en typisk, dansk svinestald som baseline, benævnt "Totalstalden" rapporten, til sammenligning med alternative designforslag.

Der er således tale om et sammenlignende case studie, og det er muligt at der bliver truffet beslutninger på baggrund af resultaterne. Beslutningskonteksten er derfor *situation A* (Hauschild, Rosenbaum og Olsen 2018).

LCA-studiet udføres i forbindelse med et specialkursus på DTU byg, som en del af et projekt mellem SEGES og DTU, der omhandler måder at gøre danske svinestalde mere bæredygtige i fremtiden. SEGES har sammen med Gråkjær leveret information, detaljer og mængder om de vurderede staldtyper. SEGES og Gråkjær er således indflydelsesrige aktører i studiet.

2.1.2 Funktion og funktionel enhed (FU)

De 6 forskellige vurderede bygningsdele har forskellige funktioner i svinestalden. Fælles for dem er, at de hjælper med at holde et acceptabelt indeklima i svinestalden, bl.a. ved at holde vind og vejr ude over en længere tidsperiode. Det der reelt sammenlignes i de forskellige scenarier, er forskellige byggematerialers evne til at opfylde samme funktioner for svinestalden. Ændringen i byggematerialer har naturligvis indflydelse på de medfølgende klimapåvirkninger, men kan også have det for eksempelvis levetiden. Den funktionelle enhed sørger for, at alle scenarier er sammenlignelige, ved at der stilles samme krav til

¹www.iso.org/standard/37456.html

²www.iso.org/standard/38498.html

³www.lcabyg.dk

⁴<https://webshop.ds.dk/da-dk/standard/ds-en-159782012>

forskellige byggematerialer i form af hvor, hvor længe og hvor godt. De specifikke funktionelle enheder for hver af de seks bygningsdele som sammenlignes i denne rapport kan ses i Tabel 2.1

Bygningsdel	FU
Terrændæk	x m ² terrændæk egnet til en svinestald i 40 år
Loft	x ⁵ m ² akustikloft med porøsitet som tillader passende ventilation igennem loftet i en svinestald i 40 år
Ydervæg	x m ² ydervæg som tåler miljøet i en svinestald og er vejrbestandig i 40 år
Indervæg	x m ² indervæg som kan tåle miljøet i en svinestald i 40 år
Tag	x m ² vejrbestandig tag i 40 år
Fundament	x lbm fundament, som kan optage kræfterne fra ydervæggene i en svinestald, i 40 år

Tabel 2.1: FU for de seks bygningsdele som sammenlignes

2.1.3 Systemgrænser

Analysen, der er foretaget i LCAByg 3.2, medtager faserne A1-A3, B4 og C3-C4.

2.1.4 Fuldstændighedskrav

Det er kun de seks bygningsdele, som benævnt i Tabel 2.1, der er medtaget i beregningerne til sammenligning mellem forskellige bygningsdesign for svinestalden. Dette er primært for at begrænse omfanget af LCA-beregninger. Dette skal dog ses som en begrænsning af resultaterne, da øvrige bygningsdele eller inventar i svinestalden kan have betydning for de endelige resultater. For at få et mere komplet overblik over alle miljøpåvirkninger ved forskellige løsninger, bør så mange bygningsdele som muligt tages med i beregningerne.

2.1.5 LCIA-metode

LCA-beregnigner er foretaget i LCAByg 3.2 med fokus på miljøpåvirkningskategorien klimapåvirkninger (GWP), men øvrige kategorier som er inkluderet i LCAByg er også taget i betragtning. De vurderede miljøpåvirkningskategorier kan ses i Tabel 2.2.

Impact kategori	Forkortelse	Enhed
Klimaforandringer	GWP	CO ₂ -eq.
Ozonedbrydning	ODP	R11-eq.
Fotokemisk ozondannelse	POCP	Ethen-eq.
Forsuring	AP	SO ₂ -eq.
Næringssaltbelastning	EP	PO ₄ -eq.
Udtømning af ressourcer – grundstoffer	ADPe	Sb-eq.
Udtømning af ressourcer – fossile brændsler	ADPf	MJ
Primærenergiforbrug	PEtot	kWh

Tabel 2.2: Inkluderede miljøpåvirkningskategorier i LCAByg 3.2

2.1.6 Allokeringsmetode

LCAByg benytter sig af cut-off-metoden i overensstemmelse med *DS/EN 15804*, hvilket betyder at "polluter pays". Dvs. den der står for klimapåvirkninger tilskrives disse fuldstændigt. Genanvendelse af byggematerialer betragtes således som neutrale eller *burden free*.

⁵mængder for FU'er varierer mellem forskellige staldtyper og kan ses i Tabel 4.7 for Stålstalden og Totalstalden og Tabel 6.5 for CLT-stalden (og Totalstalden igen)

Det betyder at genanvendte byggematerialer anses for ikke at have en klimapåvirkning. Kredittering for genanvendelse af byggematerialer eller energiproduktion ved forbrænding af materialer efter nedrivning af stalden medregnes ikke iht. cut-off metoden. Medregning af dette vil være inkonsekvent ift. den valgte allokeringsmetode og vil give en unfair miljøfordel til det valgte system, som kan karakteriseres som "greenwashing"⁶ og i strid med korrekt LCA-metode.

2.1.7 Datakrav og kvalitet

Der er fortrinsvist benyttet produkt- eller branchespecifikke EPD'er (primært fra EPD Danmark eller EPD Norge), som er lavet i henhold til DS/EN 15804, på alle byggematerieler til LCA-beregninger i LCAbyg. Den generiske database i LCAbyg, Ökobaudat, er således kun benyttet i et meget begrænset omfang.

Størstedelen af de benyttede EPD'er er fra 2019 eller 2020 og stammer fra Danmark eller Norge og anses derfor kvalitetsmæssigt for at være af tilfredsstillende høj kvalitet.

2.2 Beskrivelse af miljøpåvirkningskategorier

De 8 forskellige miljøpåvirkningskategorier, som der medregnes i LCAbyg, er såkaldte midpoint-kategorier, hvor en række forskellige udledninger samles i én kategori. Det gælder for eksempel for alle drivhusgasser, som samles i midpoint-kategorien "klimaforandringer" (GWP) og måles i *kg. CO₂-ækvivalenter*.

En samlet oversigt over hvad de 8 miljøpåvirkningskategorier betyder for klimaet:

- **GWP:** Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimænderinger til følge
- **ODP:** Nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag som beskytter flora og fauna mod solens skadelige UV-stråler
- **POCP:** Bidrager i forbindelse med UV-stråler til at danne jordnær ozon /sommersmog) som bl.a. er skadelig for luftvejene
- **AP:** Når menneskeskabte udledninger af luftforurende stoffer som NO_x, SO₂ og NH₃ reagerer med vand og falder som "syreregn" der bl.a. medvirker til at nedbryde rodsystemer og udvaske planternes næringsstoffer
- **EP:** For høje tilførsler af næringsstoffer fremmer uønsket plantevækst i sarte økosystemer, f.eks. algevækst med fiskedød til følge
- **ADPe:** Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømmning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller eller mineraler
- **ADPf:** Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømmning af tilgængelige energi i form af fossile brændsler
- **PEtot:** Et højt forbrug af ressourcer i primærenergiform fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til udtømmning af naturlige ressourcer

⁶Greenwashing er et begreb som bruges om marketing som lukrerer på et grønt image; se www.investopedia.com/terms/g/greenwashing.asp

3 Baseline: Totalstalden

Den svinestald, som er blevet brugt som baseline til LCA resultater- og sammenligninger, er et eksempel på en typisk dansk svinestald med betonvægge og træspær-konstruktion, som bliver bygget i dag hos danske landmænd (GRÅKJÆR 2021). Denne type svinestald vil fremover blive benævnt "Totalstalden" og fungerer som baseline i rapporten.

I rapporten *"DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'"* (Mahdi m.fl. 2021) er der lavet en livscyklusanalyse af Totalstaldens miljøpåvirkninger og disse resultater danner grundlaget for denne rapport, eftersom de bruges til at udvælge hvilke bygningsdele der bør fokuseres på, i et forsøg på at finde alternative designforslag, som kan nedbringe CO₂-aftrykket fra stalden.

3.1 Totalstaldens opbygning

Totalstalden er 1715 m² stor og er opbygget af ydervægge i betonelementer, skillevægge/tværgående stabiliserende vægge i letbetonelementer, samt en tagkonstruktion af træspær. Fundamentet er et klassisk randfundament af beton og lecablokke. Derudover har svinestalden et 1700 m² loft i træbetonplader, samt gavle af en let konstruktion i 25 mm metalplader.

3.1.1 Bygningskomponenter og mængder

Ydervægge

Ydervægge er opbygget af et sandwich element bestående af C25/30 beton på begge sider af et 100 mm tykt lag isolerende PIR-skum, se tabel 3.1.

Materiale	Tykkelse	Mængde (total)
<i>Udvendigt</i>		
Beton C25/30	60 mm	429 m ²
PIR skum isolering	100 mm	429 m ²
Beton C25/30	120 mm	429 m ²
<i>Indvendigt</i>		

Tabel 3.1: Totalstalden, Ydervæg

Indervægge

Indervægge har en afstivende funktion, statisk for Totalstalden. Hvis ikke der er nok gennemgående stabiliserende, skillevægge, vil det være nødvendigt med indspændte søjler langs ydervæggene, for at optage vandrette kræfter.

Indervægge er opbygget af letbetonelementer, se tabel 3.2.

Materiale	Mængde (total)	Antal
Letbetonelement, 100 mm.	433 m ²	9 stk.

Tabel 3.2: Totalstalden, Indervæg

Tagkonstruktion

Tagkonstruktionen består af gitterspær i træ med en center-afstand på 1 meter. Se tabel 3.3 for dimensioner.

Materiale	Mængde	Antal
Træspær	0,41 m ³ pr. spær	68 stk.
Gitterbjælker	0,721 m ³ pr. spær	5 stk.
Tagplader, fibercement	1873 m ²	1 stk.

Tabel 3.3: Totalstalden, Tagkonstruktion

Randfundament

Fundamentet består af et klassisk randfundament opbygget af en rande med in situ beton, 2 fundablokke samt én lecablok.

Se tabel 3.4 for dimensioner og nærmere beskrivelse af mængder.

Materiale	Mængde	Antal
Beton, in situ	0,15 m ³ pr. meter	184 lbm
2 x Fundablokke, 20x23 cm	0,092 m ³ pr. meter	184 lbm
19 X 23 cm. lecablok	0,044 m ³ pr. meter	184 lbm

Tabel 3.4: Totalstalden, Randfundament

Terrændæk

Terrændækket er todelt, og består af ét niveau ved gangarealer rundt langs ydervæggene, og ét lavere niveau hvor svinene opholder sig (kanalbund). Se tabel 4.3.

Materiale	Mængde (total)	Antal
Kanalbund (beton med armering)	970 m ²	1 stk.
Gangarealer (isolering, grovbeton, afretningslag)	550 m ²	1 stk.

Tabel 3.5: Totalstalden, Terrændæk

Loft

Loftet i hele Totalstalden består af 25 mm tykke træbetonplader samt 100 mm mineraluldisolering. Se tabel 3.6.

Materiale	Dimension	Mængde
Træbetonplader	25 mm	1715 m ²
Mineraluldisolering	100 mm	1715 m ²

Tabel 3.6: Totalstalden, Loft

Gavle

Gavlene i Totalstalden består af metalplader og er ikke isolerede. Se tabel 3.7.

Materiale	Tykkelse	Mængde
Metaltrapezplader	0,75 mm	120 m ²

Tabel 3.7: Totalstalden, Gavl

3.1.2 Levetider

De valgte levetider for bygningsdelene, som er brugt i LCA-beregningerne, er baseret på de brugte EPD'er fra forskellige bygningskomponenter – se appendiks A for en fuld oversigt over brugte EPD'er. Hvis ikke der er brugt EPD til et bygningskomponent, eller den brugte EPD ikke angiver forventet levetid, er levetiderne i appendiks F i SBI 2013:30 (Aagaard m.fl. 2013) blevet brugt, se appendiks B.

3.2 LCA-resultater og Hotspot fra Totalstalden

Et væsentligt udsnit af LCA-resultaterne fra rapporten *"DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGS-BYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'"* (Mahdi m.fl. 2021), som er lavet på DTU i samarbejde med Gråkjær¹ og SEGES², kan ses på Figur 3.2 og 3.1. Rapporten vil i det følgende blive benævnt "baseline-rapporten".

3.2.1 Udvælgelse af bygningskomponenter

Eftersom formålet med denne rapport er, at finde alternative designløsninger til svinestalde i Danmark, bruges LCA-resultaterne fra "baseline-rapporten" (Mahdi m.fl. 2021) til at udvælge hvilke bygningskomponenter der bør undersøges alternativer til.

Der præsenteres dermed ikke en løsning på alle Totalstaldens mest miljøbelastende bygningskomponenter fundet i hotspot-analysen (Figur 3.1); derimod er der blevet undersøgt alternativer til udvalgte bygningskomponenter ud fra en række betingelser:

1. Bygningskomponentet er repræsenteret i hotspot-analysen i baseline-rapporten (Mahdi m.fl. 2021)
2. Et alternativ skal opfylde sammen funktion som det, det erstatter (e.g. samme isoleringsevne)
3. Der bliver undersøgt et alternativ til mindst ét af bygningskomponenterne fra top 3 i hotspot-analysen (Figur 3.2)
4. Et alternativt bygningskomponent skal som minimum opfylde én af følgende to kriterier, men helst begge:
 - (a) Mindre CO₂-aftryk i forhold til det bygningskomponent det erstatter
 - (b) Egner sig til design for adskillelse (så hele eller dele af bygningskomponentet kan skilles ad og bruges direkte igen i en ny svinestald)

3.2.2 Udvælgelse af miljøpåvirkningskategorier

Udover CO₂-udledninger, som bidrager til klimaforandringer, måles der på en lang række andre miljøpåvirkningskategorier i en LCA.

I LCAbyg 3.2, som er den software der er brugt i både baseline-rapporten (Mahdi m.fl. 2021) og denne rapport til at lave LCA-beregninger, bliver der beregnet miljøaftryk på 8 forskellige miljøpåvirkningskategorier, jf. tabel 2.2.

¹ www.graakjaer.dk

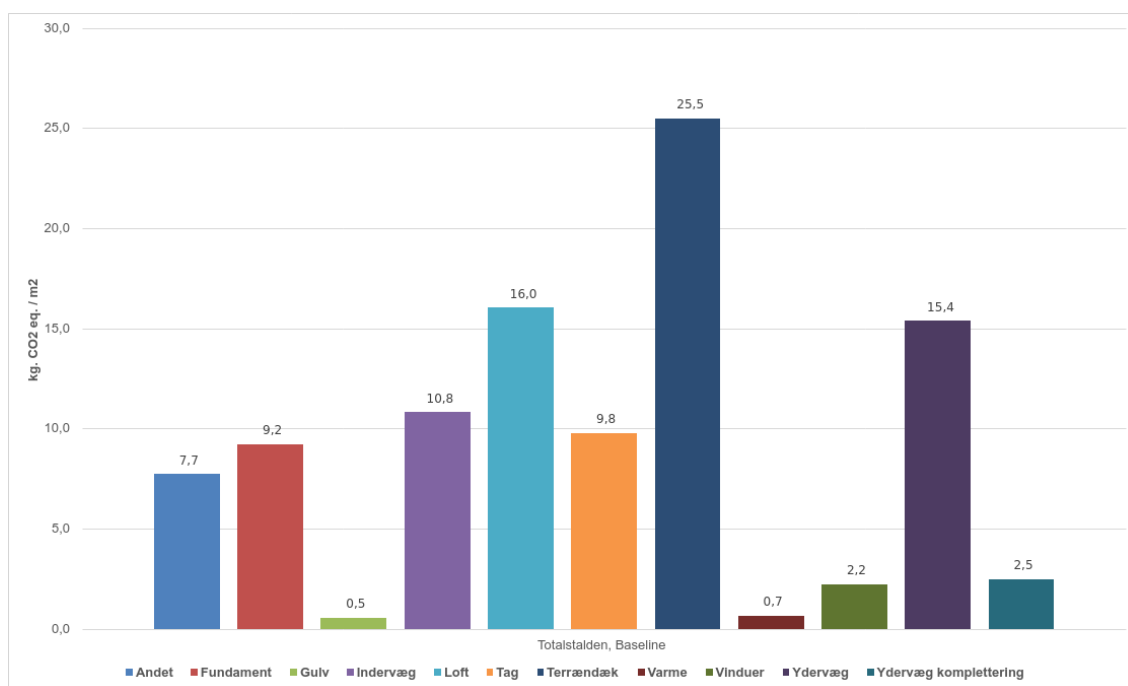
² www.seges.dk

Formålet med arbejdet, som præsenteres i denne rapport, er at finde designforslag som kan nedbringe CO₂-aftrykket og dermed mindske påvirkninger til klimaforandringer fra danske svinestalde. Derfor er miljøpåvirkningskategorien GWP, som måles i CO₂ ækvi-valenter, Den eneste miljøpåvirkningskategori der betragtes i denne rapport. Der bør dog altid kigges på de øvrige miljøpåvirkningskategorier som er inkluderet i beregningerne foretaget i LCAbyg inden en egentlig beslutning på baggrund af resultaterne for GWP foretages, for at undgå såkaldt burden-shifting (Hauschild, Rosenbaum og Olsen 2018), hvor problemerne med udledninger fra ét materiale i en påvirkningskategori flyttes til en anden påvirkningskategori ved valget af et alternativt materiale. Derfor er rapporten som genereres i LCAbyg software inkluderet i appendiks D.2.

De inkluderede miljøpåvirkningskategorier i LCAbyg kan ses i Tabel 2.2.

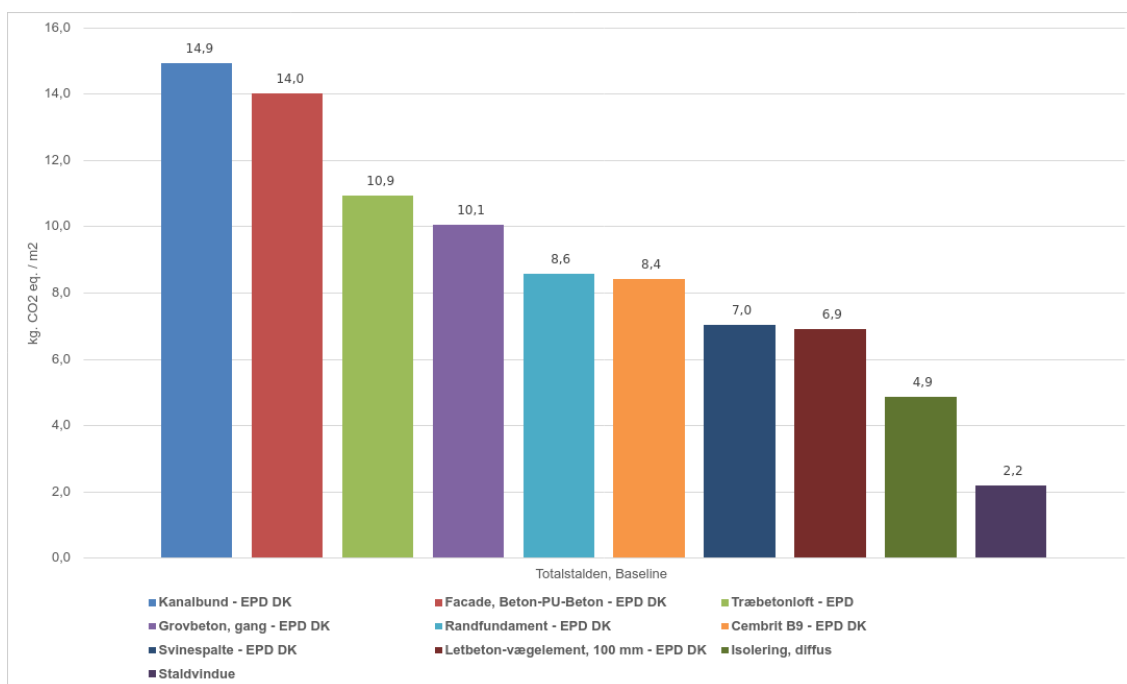
3.2.3 Udvalgelse af mest miljøbelastende bygningskomponenter

For at kunne udvælge de mest miljøbelastende bygningsdele fra Totalstalden, med det formål at finde mere bæredygtige alternativer, bruges hotspot-resultaterne fra LCA-beregningerne for Totalstalden. Kigger man på en hotspot-analyse over de mest miljøbelastende bygningsdele, se Figur 3.1, ses det at terrændæk, loft og ydervæg er de bygningsdele, som står for det største CO₂-aftryk i Totalstaldens levetid (blandt byggematerialer).



Figur 3.1: Hotspot for Totalstaldens bygningsdele

Et mere detaljeret overblik over, hvilke bygningskomponenter der står for udledningen i de tre bygningsdele fremgår af Figur 3.2. Her ses det, at udledningen fra henholdsvis kanalbunden (terrændæk) og ydervæggene står for den højeste CO₂-udledning. Træbetonloftet (loft) og grovbeton (terrændæk) er de 3. og 4. største udledere efterfulgt af hhv. randfundamentet og fibercementpladerne i taget.



Figur 3.2: Hotspot for Totalstaldens Bygningskomponenter - GWP

En samlet oversigt over de mest miljøbelastende (GWP) bygningskomponenter, samt hvilken bygningsdel de tilhører, kan ses i tabel 3.8.

#	Bygningskomponent	Bygningsdel
1	Kanalbund	Terrændæk
2	Facadeelementer (beton-PU-beton)	Ydervæg
3	Træbeton (loftplader)	Loft
4	Grovbeton (gangarealer)	Terrændæk
5	Randfundament (leca-fundablok-beton)	Fundament
6	Tagplader (fibercement)	Tag

Tabel 3.8: Samlet oversigt over de mest klimabelastende (GWP) bygningskomponenter fra Totalstalden, samt hvilken bygningsdel de tilhører

3.2.4 De mest miljøbelastende bygningsdele

Figur 3.1 viser miljøpåvirkninger, ift. GWP, fordelt på bygningsdele frem for bygningskomponenter. Her ses det, at terrændækket er den bygningsdel, med størst CO₂-aftryk. Bygningsdelen "andet" dækker over inventar i svinestalden, som der ikke undersøges alternativer til i denne rapport. Derudover er de 6 mest betydningsfulde bygningsdele listet i tabel 3.9.

Det ændrer lidt på rækkefølgen, sammenlignet med tabel 3.8. Dette skyldes, at eksempelvis terrændækket består af flere forskellige bygningskomponenter, som i dette tilfælde summeres under samme bygningsdel.

De 6 bygningsdele fra tabel 3.9, terrændæk, loft, ydervæg, indervæg, tag og fundament, er altså de mest betydningsfulde ift. GWP fra Totalstalden. Det er udelukkende disse 6

#	Bygningsdel
1	Terrændæk
2	Loft
3	Ydervæg
4	Indervæg
5	Tag
6	Fundament

Tabel 3.9: De mest klimabelastende (GWP) bygningsdele for Totalstalden

bygningsdele³ som bruges i det videre arbejde i denne rapport, når der sammenlignes med alternative løsninger til Totalstalden.

Øvrige miljøpåvirkningskategorier

For at sikre, at der ikke bliver overset andre bygningskomponenter med en betydelig miljøpåvirkning i andre miljøpåvirkningskategorier, bør resultaterne for de øvrige kategorier jf. tabel 2.2 også tages i betragtning.

3.2.5 Konklusion på de mest miljøbelastende bygningskomponenter fra Totalstalden

Størstedelen af de seks bygningskomponenter, som fremgår af tabel 3.8 består af beton – bortset fra PU-skummet i ydervæggens facadeelementer. Derfor er den første konklusion, at det vil være nødvendigt at finde en løsning på det relativt høje CO₂-aftryk forbundet med produktionen af beton.

Alternative materialer og bygningsdesign som er forberedt 'design for adskillelse'

Der er to umiddelbare løsninger på at nedbringe CO₂-aftrykket fra de mest miljøbelastende bygningskomponenter fra Totalstalden:

1. Erstatte bygningskomponenterne med et alternativ, som består af et mindre CO₂-belastende materiale
2. Finde måder at genanvende bygningskomponenterne i et nyt byggeri, på en måde hvor det erstatter produktionen af nye materialer (vuggetilvugge.dk 2021)

Begge disse metoder bevarer, i udgangspunktet, Totalstaldens umiddelbare geometri, statiske system/princip og bygningsdesign. Fordelen ved det er, at hvis der findes alternative byggematerialer, som kan bruges som direkte erstatning til det eksisterende, så kan det være en relativt simpel og enkel måde at optimere Totalstaldens design.

Der stilles det krav af det nye bygningsdesign, at det opfylder de samme funktioner, som det nuværende design⁴.

I kapitel 6 udforskes denne tilgang til at mindske totalstaldens CO₂-aftryk, hvor forskellige bygningsdesign og komponentløsninger præsenteres, vurderes og sammenlignes med Totalstalden på forskellige måder. I kapitel 5 undersøges muligheder for at optimere det eksisterende design af Totalstalden uden at udskifte grundlæggende bygningsmaterialer (som beton).

Alternative staldtyper

En anden måde at nedbringe CO₂-aftrykket fra svinestalde kan også være ved at vurdere en helt anden type svinestald med grundlæggende andre materialer, geometri, statisk system og design, men som stadig opfylder samme funktioner som Totalstalden (antal m², kapacitet etc.). Hvis en alternativ stald performer bedre (på GWP), er det måske et bedre

³for at begrænse omfanget af LCA-beregninger som bruges til sammenligning med baseline

⁴e.g. levetider, isoleringsevne, antal m² etc.

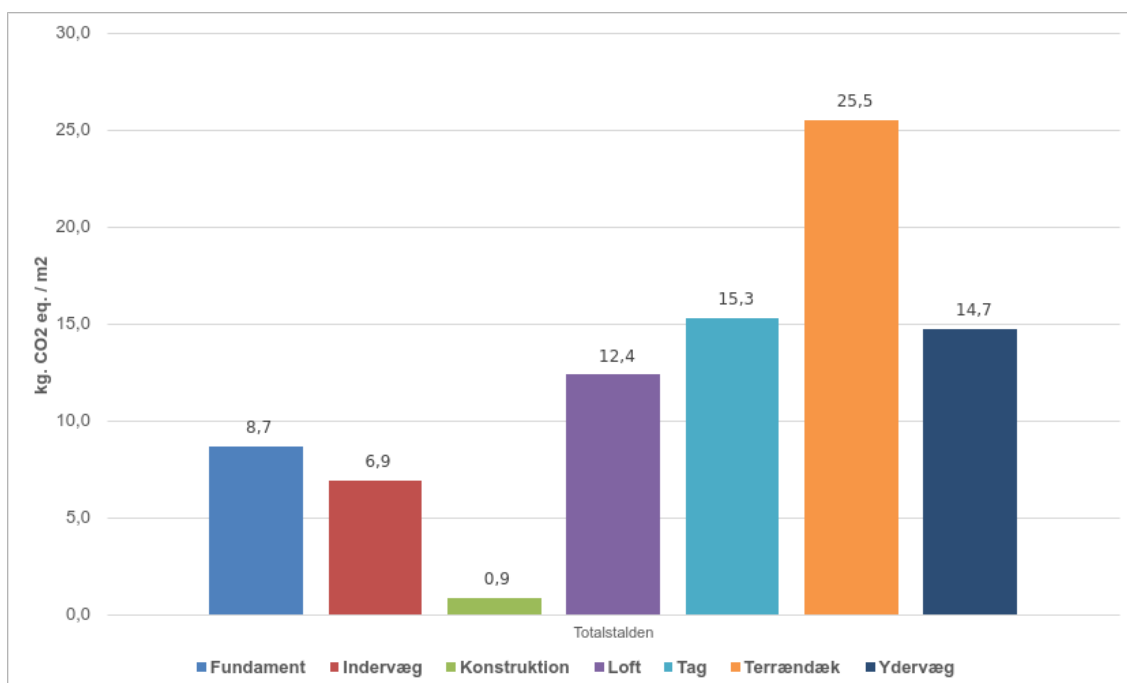
bud på fremtidens, miljørigtige svinestald.

Der findes i Danmark allerede (flere) kendte alternativer til Totalstalden. Et af disse alternativer bliver præsenteret, vurderet og sammenlignet med Totalstalden i kapitel 4, Stålstalden.

3.3 LCA-resultater fra Totalstalden på de udvalgte bygningsdele

I dette kapitel er resultaterne for Totalstaldens samlede miljøpåvirkninger blevet præsenteret. Jf. tabel 3.9 som viser de 6 mest miljøbelastende bygningsdele fra Totalstalden, præsenteres der i dette afsnit LCA-beregninger for kun disse 6 bygningsdele – altså hvor resten af Totalstalden udelades. Dette er for at have det samme grundlag til sammenligning med de øvrige resultater som præsenteres i rapporten.

LCA-resultaterne for Totalstalden på de 6 udvalgte bygningsdele i Tabel 3.9 kan ses på Figur 3.3.



Figur 3.3: Totalstalden: LCA-resultat (GWP) for 6 udvalgte bygningstyper

Resultaterne er de samme som fundet i baseline-rapporten (Mahdi m.fl. 2021) – forskellen ligger i udelukkelsen af visse bygningsdele (f.eks. vinduer og døre), som ikke er taget med til sammenligning med Stålstalden, samt måden bygningsdelene er kategoriseret på. Således ligger "loft" nu nummer 2, eftersom denne bygningstype både indbefatter træbetonplader + mineraluldisolering + dampspærre. Kategorien "konstruktion" dækker over konstruktionstræ, som er brugt til tagkonstruktionen i Totalstalden.

Denne måde at kategorisere og præsentere LCA-resultater kan gøre det svært at gennemskue hvilke bygningsdele som er inkluderet i hver bygningstype. Alligevel bruges denne kategorisering, da den giver en meget overskuelig sammenligning mellem Totalstalden og Stålstalden, til brug i de indelende analyser. Efterfølgende vil der blive kigget nærmere på resultater for de enkelte bygningskomponenter, for at skabe klarhed over præcis hvilke komponenter som er ansvarlige for udledningerne.

4 Stålstalden

Det første alternativ som bliver sammenlignet med Totalstalden, er en svinestald som er opbygget af stålrammer som det primære bærende system med selv bærende sandwichelementer (metal-PU-metal) som klimaskærm. Denne stald vil i det følgende blive benævnt "Stålstalden" og er grundlæggende opbygget meget anderledes end Totalstalden (som bruges som baseline).

Stålstalden er et allerede eksisterende og færdigarbejdet alternativ til Totalstalden.

4.1 Stålstaldens opbygning

Stålstaldens geometri adskiller sig fra Totalstaldens ved kun at udgøre 577 m² i grundplan, se appendiks C, i modsætning til Totalstaldens 1715 m². Derudover er materialevalget fundamentalt anderledes, primært baseret på stål og selv bærende sandwichelementer. Fundament og terrændæk er i samme stil som i Totalstalden.

Stålrammer

Stålet har et stort potentiale i forhold til design for adskillelse, eftersom der er mulighed for at genbruge stålrammerne i en ny staldbygning. Hvis ikke dette er muligt, er genanvendelse af brugt stål, i produktionen af nyt konstruktionsstål, allerede veletableret – typisk dansk konstruktionsstål består således af op til 78 % genbrugsstål (Give-Steel-A/S 2020).

Klimaskærm

Stålstaldens klimaskærm er opbygget af selv bærende sandwichelementer med en kerne af PU-skum isolering med metalplade på begge sider. Disse metal-PU-metal sandwichelementer udmærker sig bl.a. ved at være lette i vægt, hurtige at opsætte og høj isolerings evne (pga. PU-skum isolering). Derudover egner de sig, ligesom stålet, til at blive adskilt igen (nedtaget i hele elementer) og har dermed potentiale for at kunne bruges igen i et nyt byggeri. Desværre har de en relativt kort forventet levetid på højest 45 år (European-Association-for-Panels-and-Profiles 2018).

En dansk svinestalds forventede levetid er 40 år (Aagaard m.fl. 2013), så det vil umiddelbart ikke være muligt at bruge de samme sandwichelementer i flere staldbygninger, medmindre en bygning tages ud af drift før tid.

Tag

Taget på Stålstalden består af tagplader i metal på træåse samt mineraluldsisolering.

Fundament og terrændæk

Fundamentet og terrændækket antages at være opbygget på samme måde som i Totalstalden.

4.2 Bygningskomponenter og mængder

Ydervægge og tagkonstruktion

Den bærende konstruktion er stålrammer, med indvendig placering. Facader udføres i sandwichelementer, brandhæmmende PIR skum med stålplade på begge sider. Tag opbygges som stålplade inderst og yderst, fastgjort på træåse som ligger oven på stålrammerne, med 150 mm mineraluld og dampspærre imellem. Se Tabel 4.1

Materiale	Mængde	Antal
Sandwichelementer, metal-PU-metal, 100 mm	277 m ²	4 stk.
Stålrammer	408,8 kg/stk.	11 stk.
Træåse, 45x145 mm, 44 m (længde)	0,287 m ³ /stk.	14 stk.
Loft/tag (metalplader + 150 mm mineraluld)	668 m ² /stk.	1 stk.

Tabel 4.1: Stålstald, Ydervægge og tagkonstruktion

Randfundament

Fundamentet består af et klassisk randfundament opbygget af en rande med in situ beton, 2 fundablokke samt én lecablok.

Se Tabel 4.2 for dimensioner og nærmere beskrivelse af mængder.

Materiale	Mængde	Antal
Beton, in situ	0,15 m ³ pr. meter	115 lbm
2 x Fundablokke, 20x23 cm	0,092 m ³ pr. meter	115 lbm
19 X 23 cm. lecablok	0,044 m ³ pr. meter	115 lbm

Tabel 4.2: Stålstald, Fundament

Terrændæk

Terrændækket er todelt, og består af ét niveau ved gangarealer rundt langs ydervæggene, og ét lavere niveau hvor svinene opholder sig (kanalbund). Se Tabel 4.3.

Materiale	Mængde (total)	Antal
Isolering, Beton, Afretningslag)	577 m ²	stk.

Tabel 4.3: Baseline, Terrændæk

Gavle

Gavlene i Stålstalden består også af sandwichelementer med 100 mm PU skum isolering i kernen. Se Tabel 4.4.

Materiale	Tykkelse	Mængde
Sandwichelementer, metal-PU-metal	100 mm	23,5 m ²

Tabel 4.4: Stålstald, Gavl

4.2.1 Stålstaldens geometri

En vigtig forskel på Stålstalden er dens grundlæggende anderledes geometri i forhold til Totalstalden. I appendiks C ses et udvalg af tegningsmateriale over Stålstalden samt mængder på stålrammerne (Figur C.1). Det kan ses af tegningsmaterialet, at én Stålstald udgør 577 m² i modsætning til 1715 m² for Totalstalden. For at kunne sammenligne LCA-resultaterne mellem de to staldtyper, er resultaterne normaliseret i forhold til m² for de forskellige staldtyper. Det betyder, at GWP udtrykkes i enheden [kg. CO₂ eq. / m²]. Dette er en typisk måde at udtrykke en bygnings udledninger på, for at der kan sammenlignes på tværs af forskellige størrelse bygninger.

4.2.2 Levetider

De valgte levetider for bygningsdelene, som er brugt i LCA-beregningerne, er baseret på de brugte EPD'er fra forskellige bygningskomponenter – se appendiks A for en fuld oversigt over brugte EPD'er. Hvis ikke der er brugt EPD til et bygningskomponent, eller den brugte EPD ikke angiver forventet levetid, er levetiderne i appendiks F i SBI 2013:30 (Aagaard m.fl. 2013) blevet brugt, se appendiks B.

4.3 Bygningskomponenter til LCA-sammenligning

For at lave en LCA-sammenligning mellem Stålstalden og Totalstalden, er det nødvendigt at sammenligne resultaterne fra de samme bygningsdele. For at begrænse omfanget af LCA-beregningerne, laves der en sammenligning mellem de mest væsentlige bygningsdele, som bidrager til GWP¹ – jf. Kapitel 3.

Tabel 4.5 viser de 6 udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen og skaber et overblik over, hvilke bygningsdele som er identiske mellem Stålstalden og Totalstalden.

Bygningskomponent	Identisk	Anderledes
Terrændæk	X	
Loft		X
Ydervægge		X
Indervægge		X
Tag		X
Fundament	X	

Tabel 4.5: Oversigt over udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen, samt identiske bygningsdele, mellem Stålstalden og Totalstalden

4.3.1 Mængder på udvalgte bygningskomponenter

En samlet oversigt over bygningskomponenter og mængder for Totalstalden og Stålstalden kan ses på Tabel 4.6. Det er disse mængder som er brugt til indtastning i LCAbyg 3.2 til beregning af de to staldes miljøaftryk.

¹En sammenligning af samtlige bygningskomponenter fra både Totalstalden og Stålstalden, ville give et mere præcist resultat. De 6 udvalgte bygningsdele bruges til LCA-sammenligningen af hensyn til omfanget af LCA-beregningerne

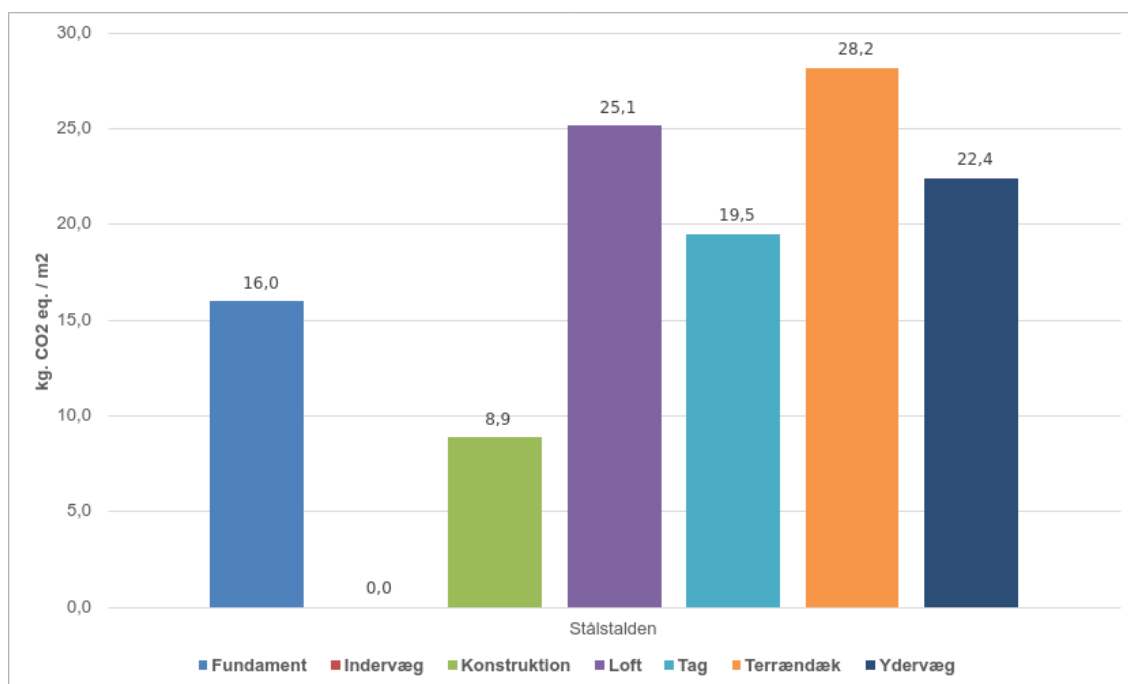
Bygningsdel	Bygningskomponent	Mængde (total)	Antal
Terrændæk			
Stålstald	Terrændæk, beton C25/30	577 m ²	1 stk.
Stålstald	Terrændæk, trykfast isolering	577 m ²	1 stk.
Totalstald	Terrændæk, beton C25/30	970+550 m ²	1 stk.
Totalstald	Terrændæk, trykfast isolering	475 m ²	1 stk.
Loft			
Stålstald	Loft, metalplader + mineraluld	668 m ²	1 stk.
Totalstald	Loft, træbetonloft + mineraluld	1.715 m ²	1 stk.
Ydervæg			
Stålstald	Ydervæg, metal-PU-metal	277 m ²	4 stk.
Stålstald	Gavl, metal-PU-metal	23,5 m ²	2 stk.
Totalstald	Ydervæg, beton-PU-beton	429 m ²	4 stk.
Totalstald	Gavl, metalplade	87,4 m ²	2 stk.
Indervæg			
Stålstald	Indervæg	0 m ²	0 stk.
Totalstald	Indervæg, letbeton	434 m ²	9 stk.
Tag			
Stålstald	Konstruktion, stålrammer	4.497 kg	11 stk.
Stålstald	Konstruktion, træåse	4,03 m ³	14 stk.
Stålstald	Tag, ståltrapezplade	668 m ²	1 stk.
Totalstald	Konstruktion, tagspær	27,8 m ³	68 stk.
Totalstald	Konstruktion, gitterspær	262 m ³	5 stk.
Totalstald	Tag, fibercementbølgeplader	1.874 m ²	1 stk.
Fundament			
Stålstald	Randfundament	115 lbm.	1 stk.
Totalstald	Randfundament	184 lbm.	1 stk.

Tabel 4.6: Mængder på udvalgte bygningskomponenter som bruges til sammenligning af LCA-resultater mellem Totalstald og Stålstald

4.4 LCA-resultater fra Stålstalden

LCA-resultaterne (GWP), lavet i LCAByg 3.2, for de 6 udvalgte bygningstyper² i Stålstalden kan ses på Figur 4.1. Det kan ses, at terrændæk, loft og ydervægge i Stålstalden er de største bidragere til GWP for Stålstalden. I modsætning til Totalstalden er terrændækket ikke den ubetinget største udleder. Kategorien "konstruktion" dækker over konstruktionsstålet, som bruges til stålrammerne. Summeres denne med enten "tag" eller "ydervægge" ville det være den mest udledende bygningsdel for hele Stålstalden.

²jf. Tabel 4.5



Figur 4.1: Stålstalden: LCA-resultat (GWP) for udvalgte bygningstyper

Sammenligning af LCA-resultater

Sammenlignes resultaterne på Figur 3.3 og 4.1 kan det ses, at terrændæk og loft i Stålstalden (Figur 4.1), er de to bygningsdele med det største CO₂-aftryk blandt samtlige bygningsdele på begge figurer. En anden stor udleder fra Stålstalden er ydervæggen, som udelukkende dækker over det selv bærende sandwichelement på 100 mm (metal-PU-metal) der bruges i Stålstalden som klimaskærm. Konstruktionsstålet, der bruges som stålrammer til det bærende system for stalden, er repræsenteret i kategorien "konstruktion".

Tabel 4.7 sammenfatter resultaterne fra Figur 3.3 og 4.1. På tabellen ses det, at Stålstaldens samlede CO₂-udledning for de udvalgte bygningskomponenter som beskrevet i Tabel 4.5, er på 120 [kg. CO₂ eq. / m²]. Totalstaldens samlede CO₂-udledning for de tilsvarende bygningskomponenter er lavere og ender ifølge beregningerne på 84 [kg. CO₂ eq. / m²].

Dette er en betydelig forskel og betyder, at Stålstaldens CO₂-aftryk for de udvalgte bygningsdele er

$$\frac{120 - 84}{84} = 43\% \quad (4.1)$$

højere end Totalstaldens. Her er der flere ting som er værd at bemærke:

1. Konstruktionsstålet til Stålstalden har en væsentligt højere CO₂-udledning end både betonen i ydervæggene og konstruktionstræet der bruges til tagspær i Totalstalden. Derfor må stålet anses for at være en af de primære grunde til den større udledning
2. Stålstaldens ydervægge (sandwichelementer) har en næsten dobbelt så høj CO₂-udledning ift. ydervæggene i beton-PU-beton fra Totalstalden jf. Tabel 4.7
3. Totalstaldens indervægge + ydervægge har sammenlagt næsten samme CO₂-udledning som Stålstaldens ydervægge (Stålstalden har ingen indervægge). Totalstalden har

Bygningsdel	Bygningskomponent	[kg. CO ₂ eq./m ²]	Mængde (FU) ³
Terrændæk			
Stålstald	Terrændæk	28,2	577 m ²
Totalstald	Terrændæk	25,5	970+550 m ²
Loft			
Stålstald	Loft, metalplader + mineraluld	25,1	688 m ²
Totalstald	Loft, træbetonloft + mineraluld	12,4	1.715 m ²
Ydervæg			
Stålstald	Ydervæg + Gavl, metal-PU-metal	22,4	277 m ² + 23,5 m ²
Totalstald	Ydervæg + Gavl	14,7	429 m ² + 120 m ²
Indervæg			
Stålstald	Indervæg	0,0	0 m ²
Totalstald	Indervæg, letbeton	6,9	434 m ²
Tag			
Stålstald	Konstruktion, stålrammer + træåse	8,9	4.497 kg + 4,03 m ³
Stålstald	Tag, ståltrapezplader	19,5	668 m ²
Totalstald	Konstruktion, tagspær/gitterspær	0,9	27,8 m ³ /262 m ³
Totalstald	Tag, fibercementbølgeplader	15,3	1.874 m ²
Fundament			
Stålstald	Randfundament	16,0	115 lbm.
Totalstald	Randfundament	8,7	184 lbm.
CO₂-udledning TOTAL			
Stålstald	120 [kg. CO₂ eq. / m²]		
Totalstald	84 [kg. CO₂ eq. / m²]		

Tabel 4.7: CO₂-udledning fra forskellige bygningstyper for Totalstalden og Stålstalden

dog den fordel, at den ikke har konstruktionsstål, ligesom Stålstalden, eftersom det statiske system ligger i de bærende ydervægge- og indervægge

4. Loft og tag, som står for væsentlige CO₂-udledninger fra Stålstalden, har en markant højere udledning, sammenlignet med Totalstaldens loft og tag. Derfor giver det mening at undersøge om løsningerne fra Totalstalden er mulige at implementere i Stålstalden, for dermed at sænke CO₂-aftrykket fra disse to bygningsdele. Dette vil blive undersøgt i kapitel 4.5

4.5 LCA-optimering af Stålstaldens bygningsdesign

Nyt bygningsdesign for Stålstalden

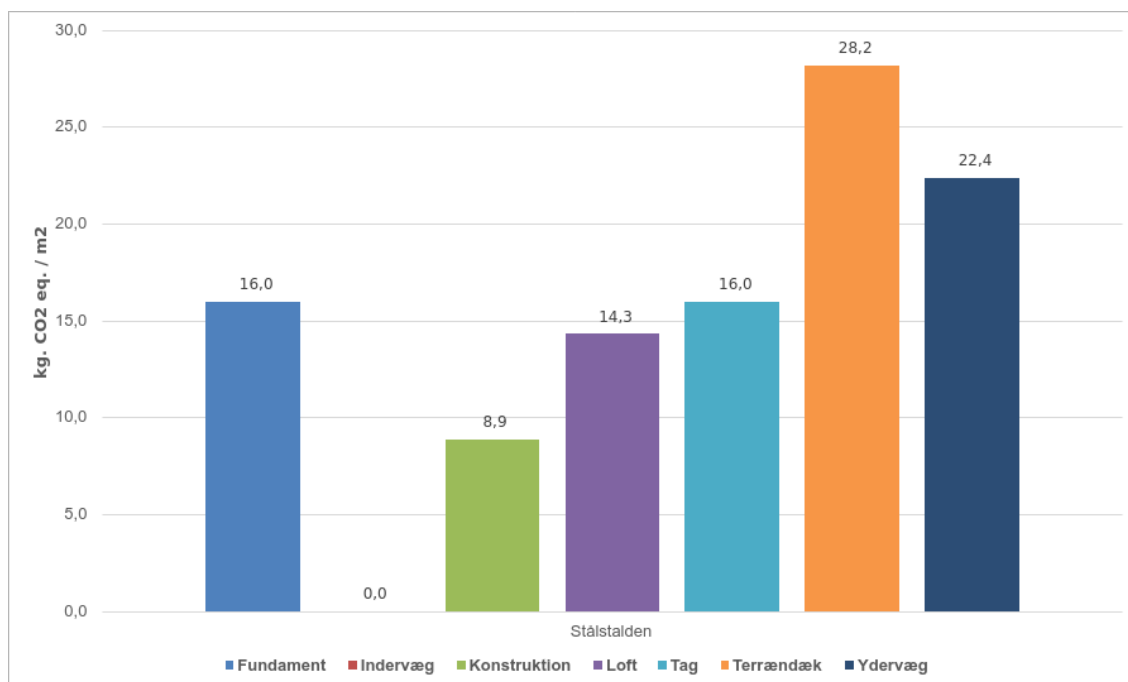
Det optimerede bygningsdesign af Stålstalden, i forhold til CO₂-udledninger, er identisk med Stålstaldens oprindelige design, bortset fra loftet og taget (tagpladerne). Som det fremgår af Tabel 4.7 har disse to bygningsdele et væsentligt højere CO₂-aftryk i forhold til Totalstalden.

Eftersom bygningskomponenterne fra Totalstalden umiddelbart kan bruges i Stålstalden uden problemer, undersøges det hvor stor en effekt dette vil have på Stålstaldens samlede CO₂-aftryk.

³Mængde til de funktionelle enheder (FU) som beskrevet i tabel 2.1

4.5.1 LCA-resultater for LCA-optimeret design af Stålstalden

De nye LCA-resultater for det LCA-optimerede design af Stålstalden, så den bruger samme bygningskomponenter som Totalstalden i loft og tag, kan ses på Figur 4.2.



Figur 4.2: GWP: LCA-optimeret design af Stålstalden

Tabel 4.8 viser CO₂-udledningen fra de to nye bygningskomponenter i Stålstalden.

Bygningsdel	Bygningskomponent	[kg. CO ₂ eq. / m ²]	Mængde (total)
Loft			
Stålstald, optimeret ⁴	Loft	14,3	668 m ²
Stålstald, oprindelig ⁵	Loft	25,1	668 m ²
Tag			
Stålstald, optimeret ⁶	Tag	16,0	668 m ²
Stålstald, oprindelig ⁷	Tag	19,5	668 m ²
CO ₂ -reduktion		14,3 [kg. CO ₂ eq. / m ²]	

Tabel 4.8: CO₂-udledning fra LCA-optimerede bygningskomponenter i Stålstalden

Effekt på samlede LCA-resultater

Forskellen i udledningerne fra de oprindelige bygningsdele og det LCA-optimerede design for Stålstalden kan ses på Tabel 4.8. Den samlede reduktion er mere end 14 kg. CO₂ eq. / m².

Trækkes denne forbedring fra Stålstaldens oprindelige CO₂-aftryk på 120 kg. CO₂ eq. / m² ⁸, bliver det samlede CO₂-aftryk for det LCA-optimerede design af Stålstalden

⁴træbetonloft + mineraluld

⁵metalplader + mineraluld

⁶fibercementbølgeplader

⁷ståltrapezplader

⁸jf. Tabel 4.7

$$120 - 14,3 = 105,7 \quad [\text{kg} \cdot \text{CO}_2 \text{eq.} / \text{m}^2] \quad (4.2)$$

Dette er en samlet reduktion for Stålstaldens CO₂-aftryk på

$$\frac{120 - 105,7}{120} = 12\% \quad (4.3)$$

hvilket må siges at være en væsentlig reduktion, i forhold til, at der blot er udskiftet to bygningskomponenter med komponenter, som allerede bruges i Totalstalden⁹.

Stålstaldens samlede CO₂-udledning med de udskiftede bygningsmaterialer fremgår af Tabel 4.9.

CO ₂ -udledning TOTAL	
Stålstald, optimeret¹⁰	105,7 [kg. CO ₂ eq. / m ²]
Stålstald, oprindelig	120 [kg. CO ₂ eq. / m ²]
(Totalstald, oprindelig)	(84 [kg. CO ₂ eq. / m ²])

Tabel 4.9: CO₂-udledning fra Stålstalden med LCA-optimeret design

På trods af en samlet reduktion på 12 % har Stålstalden stadigvæk et CO₂-aftryk som er

$$\frac{105,7 - 84}{84} = 25,8\% \quad (4.4)$$

højere end Totalstaldens. Ikke desto mindre er det næsten en halvering, i forhold til de 42,9 % som var tilfældet med det oprindelige design af Totalstalden¹¹.

4.5.2 Konklusion på LCA-optimeret design af Stålstalden

Ved at udskifte to bygningskomponenter, loft og tag, med identiske bygningskomponenter som bruges i Totalstalden, er det muligt at reducere Stålstaldens samlede CO₂-aftryk med 12 %. En sådan reduktion betyder, at Stålstaldens CO₂-udledninger stadig er over 25 % højere end Totalstaldens – i modsætning til det oprindelige design af Stålstalden, hvor CO₂-udledningerne var næsten 43 % højere.

Derfor kan det konkluderes, at Totalstaldens design for loft og tag er bedre miljømæssigt og man bør ikke vælge de løsninger som findes i Stålstalden. Derudover kan det konkluderes, at selv med de mest åbenlyse forbedringer fra Totalstalden implementeret i Stålstalden, ligger udledningen stadig markant over Totalstaldens.

4.6 Konklusion på LCA-resultaterne

Stålstalden har en højere miljøpåvirkning, ift. GWP, end Totalstalden, målt på de 6 bygningsdele som beskrevet i kapitel 4.3. Dette skyldes både Stålstaldens anderledes geometri, som betyder at udledningerne målt pr. m² er højere for visse af de identiske bygningsdele, men det skyldes også at stål er et materiale med højere GWP end f.eks beton og træ.

⁹hvilket betyder, at det er bygningskomponenter som har vist sig at fungere i det miljø som er i svinestalde

¹⁰udskiftede bygningsmaterialer jf. Tabel 4.8

¹¹se udregning (4.1)

To andre vigtige bygningsdele ift. GWP er loft og tag. Disse to bygningsdele viste sig at have et markant højere CO₂-aftryk ift. Totalstalden. Derfor blev bygningskomponenterne i disse to bygningsdele analyseret, og et alternativt design til Stålstalden præsenteret; et design som benytter samme bygningskomponenter for loft og tag, som Totalstalden. Dette havde en betydelig effekt for Stålstaldens CO₂-aftryk, men ikke nok til at komme under Totalstalden. Stålstalden har, med det optimerede design for loft og tag, stadigvæk et CO₂-aftryk som er over 25 % højere end Totalstaldens.

Slutteligt må det konstateres, at selv om Stålstaldens geometri og brug af stålrammer betyder, at afstivende indervægge ikke er nødvendige, så er det ikke nok til at få et samlet set lavere CO₂-aftryk i forhold til Totalstalden.

Jf. betingelse 4. i Afsnit 3.2.1, må det konstateres, at Stålstalden ikke lever op til punkt (a): "Mindre CO₂-aftryk i forhold til det bygningskomponent det erstatter".

Den anden delbetingelse, (b), for alternative bygningskomponenter til Totalstalden lyder således: "Egner sig til design for adskillelse (så hele eller dele af bygningskomponentet kan skilles ad og bruges direkte igen i en ny svinestald eller anden type byggeri)".

Stålstaldens potentiale ift. design for adskillelse og direkte genanvendelse bliver behandlet i kapitel 4.7.

4.7 Design for adskillelse

Potentialet i genanvendelse af stål er relativt stort. Allerede i dag, kommer op til 78 % af konstruktionsstålet i ny produktion, fra genbrugsstål (Give-Steel-A/S 2020). Det vidner om, at det allerede er en realitet, at stål bliver genanvendt og brugt i produktionen af nyt stål. Dette er selvfølgelig en meget positiv ting, og disse fordele ved konstruktionsstål er der således allerede taget højde for, når miljøpåvirkningerne fra konstruktionsstål bliver vurderet i en EPD (EPD-Danmark 2021).

Det betyder dog også, at selv om over halvdelen af konstruktionsstålet i dag allerede er genanvendt i produktionen, har stål stadig en relativ høj miljøpåvirkning sammenlignet med mange andre materialer.

Således er det konstruktionsstål, som er blevet brugt i resultaterne i afsnit 4.4, Tabel 4.7 produceret med 78 % genbrugsstål. Miljøpåvirkningerne fra konstruktionsstålet i Stålstalden ville således være (væsentligt) højere, hvis beregningerne blev baseret på en anden type konstruktionsstål, hvor andelen af genbrugsstål i produktionen var lavere.

I en EPD efter standarden DS/EN 15804 (og dermed "cut-off-metoden") er der mulighed for at regne på et såkaldt "D-modul"¹² uden at det er et krav endnu. D-modulet er den sidste fase i livscyklussen efter "bortskaffelsesfaserne" (C1-C4 processerne). Den omhandler genbrugs-, genanvendelses- eller genvindingspotentialet for produktet/systemet og ligger således udenfor systemet. Det betyder i LCA-praksis, at man ikke må modregne D-modulet i et system eller scenarie for genanvendelse (f.eks. af stålrammerne fra Stålstalden), men det skal rapporteres særskilt som en indikator for genbrugs-, genanvendelses- eller genvindingspotentialet for produktet.

Den EPD som er brugt for konstruktionsstål i denne rapport (Give-Steel-A/S 2020, har beregnet et D-modul for stålet ud fra en antagelse om, at stålet bliver direkte genanvendt eller genbrugt efter endt levetid.

Måden hvorpå potentialet ved genanvendelse og design for adskillelse kan medfører til en mindre miljøpåvirkning fra Stålstalden bliver i denne rapport således rapporteret ved at beregne D-modulet ud fra den mængde konstruktionsstål som bliver brugt i Stålstalden.

¹²se eksempelvis www.epddanmark.dk/media/1013/epd_eksempelsamling_online.pdf, side 15

Jf. Tabel 4.7 er der 4.497 kg. konstruktionsstål i Stålstalden som bliver brugt til stålrammerne. D-modulet i den benyttede EPD for konstruktionsstål er rapporteret til

$$\frac{-318 \text{ [kg. CO2 eq.]}}{1 \text{ ton konstruktionsstål}} \quad (4.5)$$

Det betyder, at det samlede potentiale for genbrugs, genanvendelses eller genvinding for konstruktionsstålet i Stålstalden er

$$-318 \text{ [kg. CO2 eq.]} \cdot 4,497 \text{ ton konstruktionsstål} = -1.430 \text{ [kg. CO2 eq.]} \quad (4.6)$$

Dvs. det samlede potentiale for D-modulet er en reduktion på mere end 1,43 ton CO2 eq. svarende til

$$\frac{-1.430 \text{ [kg. CO2 eq.]}}{577 \text{ m}^2} = -2.5 \text{ [kg. CO2 eq. / m}^2\text{]} \quad (4.7)$$

En reduktion på -2,5 [kg. CO2 eq. / m²] i forhold til Stålstaldens samlede udledning på 120 [kg. CO2 eq. / m²] lyder måske ikke af meget, men skal ses i lyset af, at 78 % af konstruktionsstålet allerede kommer fra genanvendelse/genbrug og således ikke kan blive "dobbeltkrediteret" for genanvendelsespotentiale i D-modulet jf. DS/EN 15804.

4.7.1 Øvrige bygningskomponenter

Der er umiddelbart ikke andre bygningskomponenter i Stålstalden med en forventet levetid som er væsentligt højere end selve staldens på 40 år. Dette skyldes primært, at de fleste bygningskomponenter må forventes at være slidt op, efter de 40 års forventede levetid for Stålstalden¹³. Det eneste betydningsfulde bygningskomponent for CO₂-aftrykket, som har en væsentligt længere levetid end staldens forventede levetid (udover stålrammerne), er randfundamentet. Da der ikke kendes til en gennemprøvet og meningsfuld måde at genanvende betonen fra randfundamenter mere eller mindre direkte i et nyt byggeri, vurderes dette bygningskomponent ikke yderligere i forhold til design for adskillelse¹⁴.

Sandwichelementer fra ydervægge

Et bygningskomponent som kan egne sig til at blive genanvende direkte i et nyt byggeri, er sandwichelementerne fra facaden. Disse elementer samles typisk med skruesamlinger eller beslag som gør det muligt at skille dem ad igen, uden at elementerne tager skade. Dog har de fleste sandwichelementer af denne type, metal-PU-metal, en typisk forventet levetid på 40-45 år (European-Association-for-Panels-and-Profiles 2018). Det passer ganske fint med staldens forventede levetid på 40 år; dog betyder det, at de ikke vil kunne bruges igen i et nyt byggeri, når staldbygningen skal skilles ad og rives ned efter de forventede 40 år.

En undtagelse er hvis en staldbygning med sandwichelementer tages ud af drift før tid¹⁵. I sådan et tilfælde vil sandwichelementerne ikke være slidt op endnu. Hvis en Stålstald eksempelvis tages ud af drift efter 20 år, vil det give mening, miljøpåvirkningsmæssigt, at adskille og direkte genanvende sandwichelementerne i en ny bygning, for dermed at undgå produktionen af nye sandwichelementer.

¹³jf. kapitel 4.2.2 med forventede levetider på bygningskomponenter for Stålstalden

¹⁴det skal understreges, at der kan være mange materialer og komponenter fra stålstalden, som vil egne sig til at blive skilt ad, sorteret og derefter kan genanvendes i andre sammenhænge eller til produktionen af nye materialer. I denne rapport kigges der udelukkende på bygningskomponenter med potentiale i at blive genanvendt direkte igen i et nyt byggeri, fordi levetiden tillader det (+40 år)

¹⁵inden der er gået 40 år

4.8 Konklusion af Stålstalden

Stålstaldens grundlæggende materialevalg med sandwichelementer og stålrammer viser sig primært at være en ulempe, når der måles på GWP fra de væsentlige bygningskomponenter sammenlignet med Totalstalden. Valget af GWP-tunge materialer som konstruktionsstål og sandwichelementer med PU-skum smitter tydeligt af på CO₂-aftrykket fra Stålstalden med en udledning der er 43 % højere end Totalstaldens (jf. udregning 4.1).

Potentiale for genanvendelse – D-modul

Stålstaldens stålrammer, som er det primære bærende system i stalden, har dog et potentiale i at blive genanvendt eller genbrugt i en ny staldbygning. Stål har nogle særlige fordele, når det kommer til adskillelse og potentiale for direkte anvendelse i et andet byggeri, fordi at det både har en lang levetid¹⁶ og ofte egner sig til at blive adskilt – især hvis samlinger er boltet sammen og ikke svejset.

Således er D-modulet fra den respektive EPD på konstruktionsstål ganget op i mængden af konstruktionsstål i Stålstalden -2,5 [kg. CO₂ eq. / m²]. Denne, relativt lille, værdi skal ses i lyset af, at konstruktionsstålet allerede består af 78 % genanvendt stål jf. EPD'en for konstruktionsstål (Give-Steel-A/S 2020).

LCA-optimering: loft og tag

Det er også blevet undersøgt hvilke bygningsmaterialer i loft og tag, som var skyld i en væsentligt højere udledning sammenlignet med samme bygningsdele fra Totalstalden. Effekten ved at udskifte materialer i disse bygningsdele er ikke ubetydeligt eftersom det viste sig, at Stålstaldens samlede CO₂-aftryk kan reduceres med op til 12 %. Selvom det er en betydelig reduktion er Stålstaldens CO₂-udledninger stadigvæk over 25 % højere end Totalstaldens.

Opsummering

I forhold til CO₂-udledninger fra de 6 udvalgte bygningsdele i Stålstalden, er der nogle store ulemper forbundet med valget af materialer og staldens grundlæggende bygningsdesign / geometri når der måles på GWP.

Hvis ønsket er en staldbygning med et lavere CO₂-aftryk end Totalstaldens, kan Stålstaldens design ikke anbefales – også selvom der optimeres på opbygningen af to bygningsdele, samt design for adskillelse og direkte genanvendelse af et væsentligt bygningskomponent tages med i betragtningen.

Valget af to byggematerialer som konstruktionsstål og sandwichelementer med PU-skum gør, at Stålstalden har en væsentligt højere CO₂-udledning ift. Totalstalden, som er baseret på beton-elementer og træspær.

¹⁶se appendiks B

5 Optimering af Totalstaldens design

I dette kapitel vil mulighederne for at udnytte design for adskillelse i Totalstalden blive undersøgt, samt et alternativt bygningsdesign til Totalstalden blive præsenteret og vurderet ud fra de parametre og kriterier, som er beskrevet i kapitel 3.2.1.

Det blev undersøgt i kapitel 4 hvordan design for adskillelse og direkte genanvendelse kan have et potentiale til at nedbringe CO₂-aftrykket. Derudover blev nogle af fordelene ved Totalstaldens geometri fremhævet – ift. mængden af eksempelvis randfundament og ydervægge ift. Stålstalden.

Det vil altså sige, at der helt grundlæggende, ift. materialeforbrug, er nogle fordele forbundet med at bygge i en lignende geometri som ses i Totalstalden eftersom forholdet f.eks. mellem terrændæk og randfundament bliver fordelt på en mere fordelagtig måde. Det kræver dog at kræfterne fra taget kan føres ned i fundamentet på en fornuftig måde, hvilket er blevet gjort i Totalstalden ved brug af bærende ydervægge i beton samt tværgående, bærende indervægge i letbeton til afstivning. Der er dog visse udfordringer forbundet med brugen af beton – især ift. GWP, se figur 6.1.

For at nedbringe Totalstaldens CO₂-aftryk undersøges tre mulige løsninger:

1. Hvor stort er potentialet¹ i nogle af Totalstaldens GWP-tunge bygningskomponenter ift. til design for adskillelse – her beregnes D-modulet og der diskuteres løsninger/udfordringer ved adskillelse af betonen i Totalstalden
2. Kan der laves et alternativt bygningsdesign, hvor væsentlige bygningskomponenter erstattes med andre materialer, som opfylder samme funktioner som det nuværende design, men som har et lavere CO₂-aftryk
3. Kan der laves et alternativt bygningsdesign, hvor væsentlige bygningskomponenter erstattes med andre materialer, som opfylder samme funktioner som det nuværende design, men som har mindst samme potentiale ift. design for adskillelse og direkte genanvendelse i et nyt byggeri

Kan punkt 2. og 3. kombineres, skal dette blot ses som en fordel.

Opbygning af kapitlet

Det blev undersøgt i kapitel 4 hvor stort et potentiale der er for Stålstalden ift. punkt 3 – en implementering af direkte genanvendelse af væsentlige bygningskomponenter, kan have en betydelig effekt på CO₂-aftrykket fra en bygning. Denne mulighed for Totalstalden undersøges i kapitel 5.1. Et alternativt design af Totalstaldens ydervægge, hvor isoleringen i erstattes med et andet materiale, præsenteres i kapitel 5.2, potentialet ift. design for adskillelse og det beregnede D-modul for beton i ydervæggene undersøges i kapitel 5.1, og endelig præsenteres et grundlæggende nyt design af Totalstaldens indervægge og ydervægge, samt fordelene ift. GWP og design for adskillelse ved dette design, i kapitel 6.

¹ Ift. GWP

5.1 Direkte genanvendelse af beton fra Totalstalden

Det er generelt en udfordring at genanvende beton direkte, hvorfor betonen i dag oftest knuses og bruges eksempelvis i vejfyld som erstatning for grus (Astrup 2014). Produktionen af grus er ikke specielt miljøbelastende sammenlignet med produktionen af beton, og der ligger derfor et større, miljømæssigt, potentiale i at betonelementerne i stedet nedtages og anvendes igen, således at produktion af nye tilsvarende betonelementer undgås.

Beton vejer dog relativt meget, hvilket betyder at der kræves store maskiner til at transportere det som elementer til en ny byggeplads. Derudover samles betonen typisk ikke med skruer eller beslag, som er tilfældet for andre byggematerialer, hvilket kan gøre det ganske vanskeligt at adskille betonelementer uden at de bliver beskadiget.

Der findes dog løsninger, hvor betonelementer eksempelvis samles med beslag², så det er muligt både at samle og adskille elementerne på en fornuftig måde. Sådanne løsninger er dog, desværre, ikke blevet implementeret i byggebranchen i Danmark (endnu), hvilket skyldes flere udfordringer – heriblandt pris på adskillelige samlinger. Men også styrkekrav til bærende beton, som i dag kan være svært/omfattende at dokumentere hvis beton skal genanvendes. Der arbejdes bl.a. på såkaldte "ikke-destruktive-testmetoder" for forskellige byggematerialer, hvis mål bl.a. er at gøre det let tilgængeligt at styrkevurdere genanvendelige byggematerialer.

5.1.1 Potentiale for genanvendelse – D-modul

Indtil nogle af disse udfordringer er løst, vil beton fortsat blive knust og anvendt som erstatning for grus ved bl.a. vejfyld. Dette afspejles også i D-modulet for den anvendte EPD på beton (Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen 2020a), hvor det er angivet, at D-modulet er beregnet ud fra en antagelse om, at betonen netop knuses og bruges som vejfyld. D-modulet i en EPD er beskrevet nærmere i Kapitel 4.7.

Det er vigtigt at bemærke potentialet for hvor meget D-modulet vil kunne vokse for beton i fremtiden, i takt med at let tilgængelige løsninger for genanvendelse af beton-elementer bliver en integreret del af byggebranchen.

Denne rapport forholder sig til de forhold som gør sig gældende i dag. Dermed vil potentialet for genanvendelse af beton blive udtrykt ved at beregne D-modulet fra den pågældende EPD som er brugt på beton. Størrelsen af D-modulet skal ses som et udtryk for de miljømæssige gevinster der er forbundet med nedrivning af betonen.

D-modulet for beton i den anvendte EPD (Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen 2020a) er angivet til

$$\frac{-4,6 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]}}{1 \text{ m}^3 \text{ beton C25/30}} \quad (5.1)$$

Det betyder, at det samlede potentiale ved knusning af betonen fra ydervæggene og indervæggene i Totalstalden er

$$-4,6 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]} \cdot 112 \text{ m}^3 \text{ beton} = -515 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]} \quad (5.2)$$

Dvs. det samlede potentiale for D-modulet er en reduktion på mere end 515 kg. CO₂ eq. svarende til

$$\frac{-515 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]}}{1.715 \text{ m}^2} = -0,3 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq. / m}^2\text{]} \quad (5.3)$$

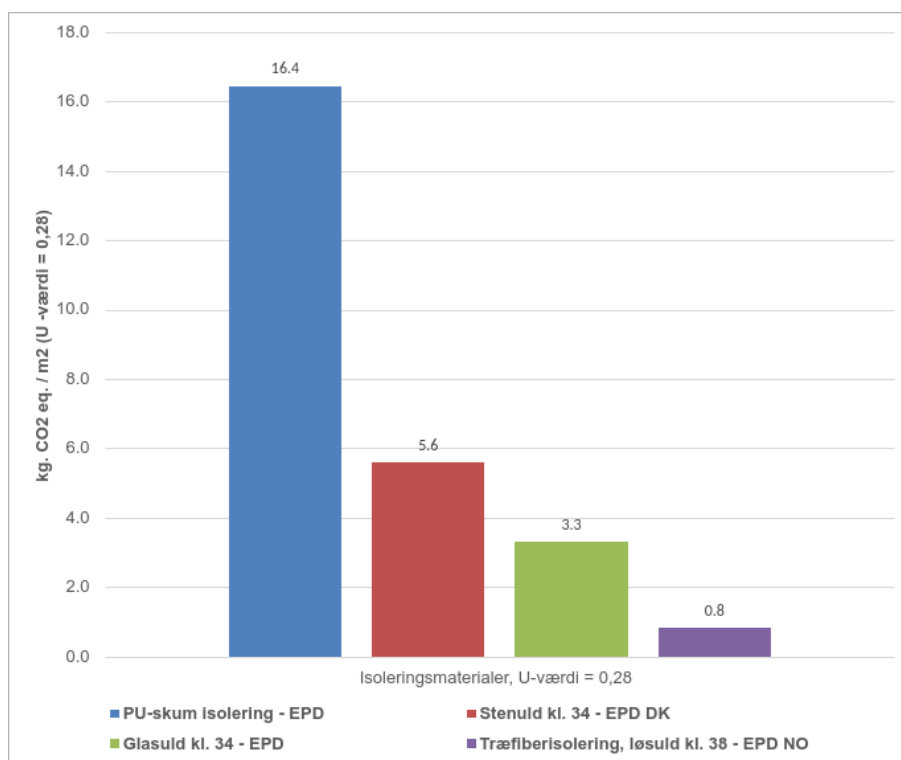
²se eksempelvis: <https://www.peikko.dk/produkter/produkter-til-betonelementer/>

i forhold til Totalstaldens størrelse på 1.715 m². Dette er væsentligt lavere end D-modulets størrelse på 2,5 [kg. CO₂ eq. / m²] i forhold til Stålstalden på 577 m². Dette skyldes naturligvis, at D-modulet for beton er væsentligt lavere end for konstruktionsstål, eftersom at betonen bliver knust og erstatter stabilgrus, i modsætningen til konstruktionsstål, hvor en stor andel af stålet går tilbage i produktionen af nyt stål.

Dermed kan det konkluderes, at med nutidens teknologi og mest sandsynlige scenarie for betonen, er D-modulet og indlejrede potentiale for reduktion ift. GWP meget lille.

5.2 Alternativt isoleringsmateriale

Isoleringen i Totalstaldens ydervægge er PU-skum isolering. PU-skum har dog en væsentligt højere CO₂-udledning end både mineraluldsisolering og træfiberisolering – se figur 5.1 som sammenligner CO₂-aftrykket mellem 1 m² af de tre isoleringsmaterialer – alle med en U-værdi på 0,28 (100 mm PU-skum isolering, 122 mm mineraluldsisolering og 136 mm træfiberisolering³).

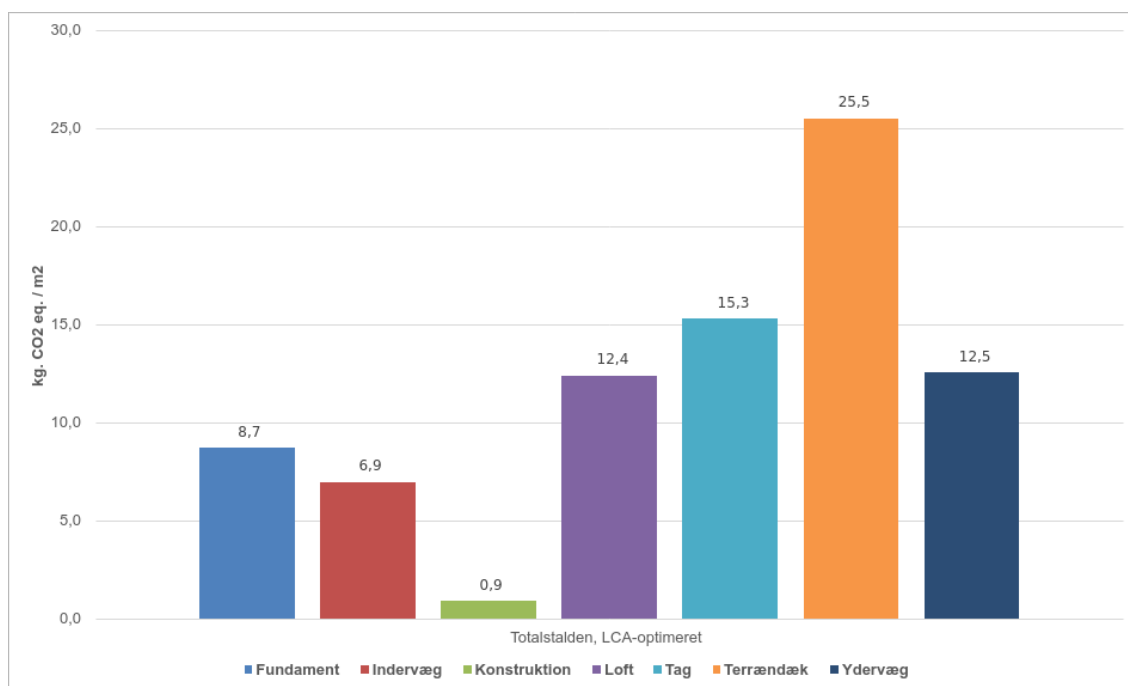


Figur 5.1: GWP for 1 m² af forskellige isoleringstyper med en U-værdi på 0,28

Det kan tydeligt ses, at PU-skum har et markant højere CO₂-aftryk end både mineraluldsisoleringen og træfiberisolering.

LCA-resultatet for ydervægge med træfiberisolering, i stedet for PU-skum, kan ses på figur 5.2.

³100 mm PU-skum isolering har en U-værdi på 0,28. 100 mm af den benyttede Rockwool og ISOVER mineraluldsisolering har en U-værdi på 0,34. 100 mm af den benyttede træfiberisolering har en U-værdi på 0,38. For at sammenligne 1 m² isolering med den samme U-værdi, må mineraluldsisoleringen have en tykkelse på 122 mm: $R = \frac{0,122}{0,034} = 3,57$; $U = \frac{1}{3,57} = 0,28$, træfiberisolering må have en tykkelse på 136 mm: $R = \frac{0,136}{0,038} = 3,57$; $U = \frac{1}{3,57} = 0,28$



Figur 5.2: Resultat for LCA-optimeret design af Totalstalden med træfiberisolering

I Tabel 5.1 er resultaterne for ydervæggene fremhævet fra de to figurer.

Bygningsdel	Bygningskomponent	[kg. CO ₂ -eq. / m ²]	Mængde (total)
Ydervæg			
Totalstalden, optimeret ⁴	Ydervæg	12,5	429 m ²
Totalstalden, oprindelig ⁵	Ydervæg	14,7	429 m ²
CO ₂ -reduktion		2,2	

Tabel 5.1: CO₂-udledning fra Totalstaldens ydervæg med træfiberisolering

Ydervæggens CO₂-aftryk i Totalstalden kan reduceres med

$$\frac{2,2}{84} = 15\% \quad (5.4)$$

ved at erstatte 100 mm PU-skum isolering med 136 mm træfiberisolering.

⁴ 136 mm træfiberisolering

⁵ 100 mm PU-skum isolering

6 CLT-stalden

I dette kapitel bliver et alternativt bygningsdesign af Totalstalden præsenteret, med brug af CLT elementer som erstatning for alt beton i ydervægge og indervægge. LCA-beregninger på GWP bliver præsenteret og sammenlignet med Totalstalden og Stålstaldens CO₂-aftryk.

Derudover bliver effekten ved optimering af visse bygningskomponenter undersøgt, samt potentialet i design for adskillelse og mulige gevinster ved opførelse af en ny CLT-stald med direkte genanvendt CLT fra en tidligere stald. Dette designforslag, som et alternativ til Totalstalden, vil i det følgende blive benævnt som "CLT-stalden".

6.0.1 Statisk system

Det er målet at erstatte bygningskomponenter fra Totalstalden med alternative bygningskomponenter, som kan opfylde den samme funktion som betonelementerne gør. Det betyder, at eksempelvis skiveeffekten i ydervæggene, ønskes at blive bevaret.

Der findes et godt alternativ til betonelementvægge kaldet CLT ¹, som er krydslamineret massivtræ, med styrke og statiske egenskaber, som minder om beton, når det bruges i en skive som eksempelvis i et ydervægselement. Det betyder, at betonen fra ydervæggene i Totalstalden, kan erstattes direkte med CLT og at det statiske princip og funktion fra Totalstalden vil blive bevaret. Det gør CLT til et interessant alternativ til beton, da det gør det relativt nemt at udskifte bygningskomponenter som primært består af betonelementer, med CLT elementer.

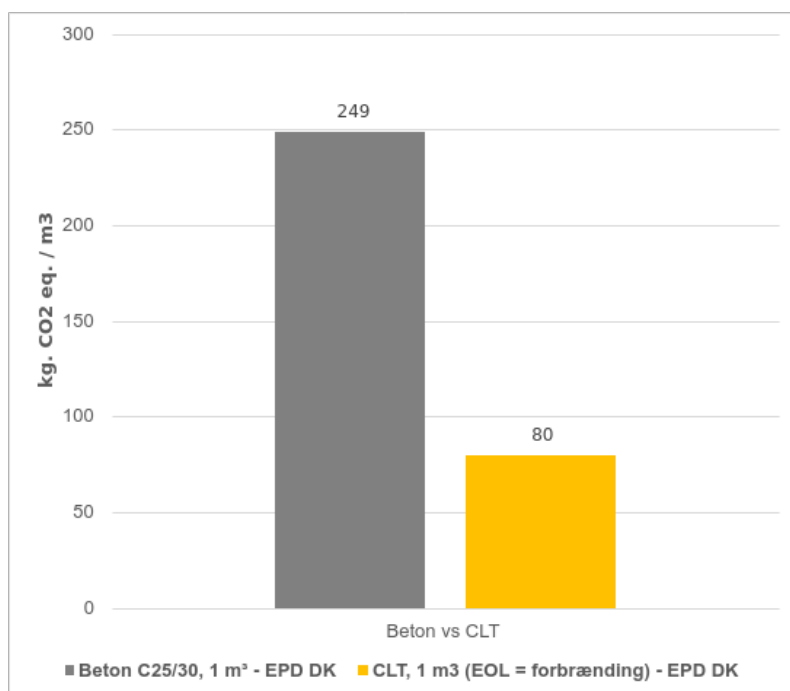
6.0.2 CO₂-aftryk for CLT

I denne sammenhæng² giver det selvfølgelig kun mening at erstatte betonen med CLT, hvis den samlede designløsning med CLT viser sig at have et lavere CO₂-aftryk end den nuværende løsning.

En sammenligning mellem CLT og beton kan ses på Figur 6.1. Dette resultat kan naturligvis ikke bruges til at konkludere, at en samlet designløsning med CLT har et mindre CO₂-aftryk ift. den nuværende løsning. Derimod er det en indikator for, at der er potentiale for at nedbringe Totalstaldens CO₂-aftryk ved at erstatte bygningskomponenter i beton med en CLT-baseret løsning.

¹<https://www.trae.dk/leksikon/clt/>

²Hvor CO₂-aftrykket fra Totalstalden ønskes at blive reduceret



Figur 6.1: GWP i kg. CO₂-eq. for 1 m³ beton C25/30 og CLT

Beregningen er for hele produkternes livscyklus i en betragtningsperiode på 50 år og både data til beton og CLT er baseret på danske EPD'er fra EPD Danmark. CLT bliver afbrændt i EOL, hvilket er en konservativ betragtning eftersom det mest realistiske vil være en blanding af afbrænding og genbrug/genanvendelse.

Jf. Figur 6.1 har beton C25/30 et CO₂-aftryk som er

$$\frac{249}{80} = 311\% \quad (6.1)$$

højere end CLT målt pr. m³ i hele livscyklusfasen for produkterne.

6.0.3 CLT og design for adskillelse

En anden fordel ved CLT elementer er, at det typisk samles med skruer eller beslag, ligesom andre træbaserede elementer og materialer. Dette gør CLT elementer relativt nemme at adskille igen, som betyder, at de egner sig til design for adskillelse. CLT forventes at have en lang levetid som konstruktionstræ og beton på 120 år (Aagaard m.fl. 2013). Det betyder, at CLT elementerne vil kunne genanvendes mere eller mindre direkte igen i en ny bygning – op til 3 gange i en staldbygning med en levetid på 40 år. Dette kommer også til udtryk i D-modulet for den danske EPD på CLT (EPD-Danmark 2020a).

6.1 Opbygning af CLT-stalden

De to mest oplagte bygningskomponenter i Totalstalden som kan erstattes direkte med CLT er ydervægge og indervægge. Derudover er der også mulighed for at ændre gavlen, så den har samme klimaskærm som ydervæggen. I ydervægge og indervægge har CLT mulighed for at erstatte betonens funktion mere eller mindre direkte. Begge vægge kræver dog en anden opbygning ved brugen af CLT, som bliver beskrevet i det følgende.

6.1.1 Indervægge

Indervæggene i Totalstalden består af 100 mm. letbetonelementer³ og har en afstivende funktion af Totalstalden i form af deres skiveeffekt. Disse kan erstattes direkte med 100 mm CLT elementer. Pga. det relativt hårde miljø i en svinestald, beklædes indervæggen i CLT med 2 lag fibercementplade på 6 mm i 1,2 meters højde på begge sider⁴.

6.1.2 Ydervægge

Ydervæggene består i Totalstalden af 120 mm. beton, 100 mm. PU-skum isolering, 60 mm. beton (facade)⁵.

Der er flere måder at opbygge en ydervæg til Totalstalden med CLT elementer. Her præsenteres ét forslag, som tager udgangspunkt i, at den bærende bagvæg i beton fra Totalstalden, erstattes med 120 mm. CLT. Dermed er det grundlæggende statiske princip for stalden bevaret og der er styr på kræfterne fra taget, som skal føres ned i fundamentet. Isoleringen kan både være PU-skum, mineraluld eller træfiberisolering. En løsning med mineraluld eller træfiberisolering, virker umiddelbart som den bedste løsning ift. bygbarhed, eftersom CLT-væggen ikke leveres som et sandwichelement ligesom betonelementet der bruges i ydervæggen i Totalstalden. Alligevel er en tænkt konstruktion med PU-skum isolering uden på CLT pladen brugt til LCA-beregningen i første omgang, da det er den løsning der er valgt i Totalstalden og fordi PU-skum har højere CO₂-aftryk end både mineraluldisolering og træfiberisolering⁶. Totalstalden kan således også drage gavn af at bruge et andet isoleringsmateriale, som det blev beskrevet i kapitel 5.2. For en konsistent LCA-sammenligning mellem CLT-stalden og Totalstalden, bruges der dermed PU-skum isolering, så de to staldbygninger sammenlignes med samme "handicap" ift. CO₂-aftrykket fra isoleringen⁷. Uden på PU-skum isoleringen bygges et træskelet af 45x45 mm konstruktionstræ, hvorpå der monteres vindspærre (træfiberplader), afstandslister og bræddebeklædning.

6.1.3 Facade i ubehandlet træ

Med en ubehandlet træfacade vil der ikke være udgifter forbundet med vedligehold af træet i CLT-staldens levetid. Derudover vil det lette på CO₂-aftrykket ved at undgå brug af maling til facaden regelmæssigt. En ubehandlet træfacade kan holde i op til 75 år for Rødgran og op til 120 år for Skovfyr⁸. Minimumlevetiden for Rødgran er angivet til 50 år, hvilket stadig er længere end den forventede levetid på staldbygningen på 40 år. Et oplagt alternativ til en ubehandlet træfacade kunne være brugte mursten⁹.

6.2 Bygningskomponenter og mængder

Ydervægge, indervægge og gavle er de eneste bygningskomponenter, som er forskellige fra Totalstalden (se Tabel 6.4). Alle CLT-staldens øvrige bygningsdele er identiske med Totalstaldens, både i opbygning og mængder, og er beskrevet i kapitel 3.1.1.

6.2.1 Ydervægge

Ydervægge er opbygget af en bagvæg i CLT med 2 lag fibercementplader på indersiden i 1,2 meters højde. Uden på CLT elementet isoleres med PU-skum isolering og der bygges en konstruktion i reglar, som holder vindspærre (træfiberplader) samt afstandslister og bræddebeklædning.

³Se Tabel 3.2

⁴Hvor højt fibercementpladerne skal dække er baseret på erfaringer fra GRÅKJÆR

⁵Se Tabel 3.1

⁶se Figur 5.1

⁷der vil, ligesom for Totalstalden, også blive præsenteret LCA-resultaterne for en alternativ konstruktion med træfiberisolering

⁸se Tabel 2: www.trae.dk/leksikon/holdbarhed-levetider-for-trae/

⁹www.gamlemursten.dk/

Materiale	Tykkelse	Mængde (total)
<i>Udvendigt</i>		
Bræddebeklædning	25 mm	429 m ²
Afstandslister, 22x45 mm, c-c = 300 mm	22 mm	0,0033 m ³ /m ²
Vindspærre, træfiberplade	12 mm	429 m ²
Reglar, 45x45 mm, c-c = 600 mm	45 mm	0.00338 m ³ /m ²
PU-skum isolering	100 mm	429 m ²
CLT	120 mm	429 m ²
Fibercementplader, 2 stk. forskudt i 1,2 m højde	2 x 6 mm	215 m ² ¹⁰
<i>Indvendigt</i>		

Tabel 6.1: CLT-stald, opbygning af ydervæg

6.2.2 Indervægge

Indervæggene i CLT har en afstivende funktion i form af deres skiveeffekt, ligesom let-betonvæggene i Totalstalden. For at beskytte CLT elementerne mod det hårde miljø i svinestalden beklædes de med 2 lag fibercementplader i 1,2 meters højde på begge sider.

Materiale	Tykkelse	Mængde (total)
Fibercementplade, 2 stk. forskudt i 1,2 meters højde	2 x 6 mm	217 m ² ¹¹
CLT	100 mm	433 m ²
Fibercementplade, 2 stk. forskudt i 1,2 meters højde	2 x 6 mm	217 m ²

Tabel 6.2: CLT-stald, opbygning af indervæg

6.2.3 Gavle

Gavlene opbygges af en trækonstruktion uden på gavl-spærret, samt en bræddebeklædning i samme stil som ydervæggene. Mængden af konstruktionstræ¹² bygger på et overlæg.

Materiale	Tykkelse	Mængde (total)
Bræddebeklædning	25 mm	120 m ²
Vindspærre, træfiberplade	12 mm	120 m ²
Konstruktionstræ (inkl. afstandslister)	95 mm	0,0071 m ³ /m ²

Tabel 6.3: CLT-stald, opbygning af gavle

6.2.4 Levetider

De valgte levetider for bygningsdelene, som er brugt i LCA-beregningerne, er baseret på de brugte EPD'er fra forskellige bygningskomponenter – se appendiks A for en fuld oversigt over brugte EPD'er. Hvis ikke der er brugt EPD til et bygningskomponent, eller den brugte EPD ikke angiver en forventet levetid, er levetiderne i appendiks F i SBi 2013:30 (Aagaard m.fl. 2013) blevet brugt, se appendiks B.

6.3 Bygningskomponenter til LCA-sammenligning

På samme måde som Stålstalden blev sammenlignet med Totalstalden, ønskes der nu en LCA-sammenligning mellem CLT-stalden og Totalstalden.

¹⁰Faktor til beregning af nyt antal m² = oprindelig lofthøjde på fibercementplader: 2,4 m. Faktor = $\frac{1,2}{2,4} = 0,5$

¹¹Faktor til beregning af nyt antal m² = oprindelig lofthøjde på fibercementplader: 2,4 m. Faktor = $\frac{1,2}{2,4} = 0,5$

¹²Til at bygge konstruktionen til vindspærre samt afstandslister til bræddebeklædningen

Tabel 6.4 viser de 6 udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen og skaber et overblik over, hvilke komponenter som er identiske mellem Totalstalden og CLT-stalden.

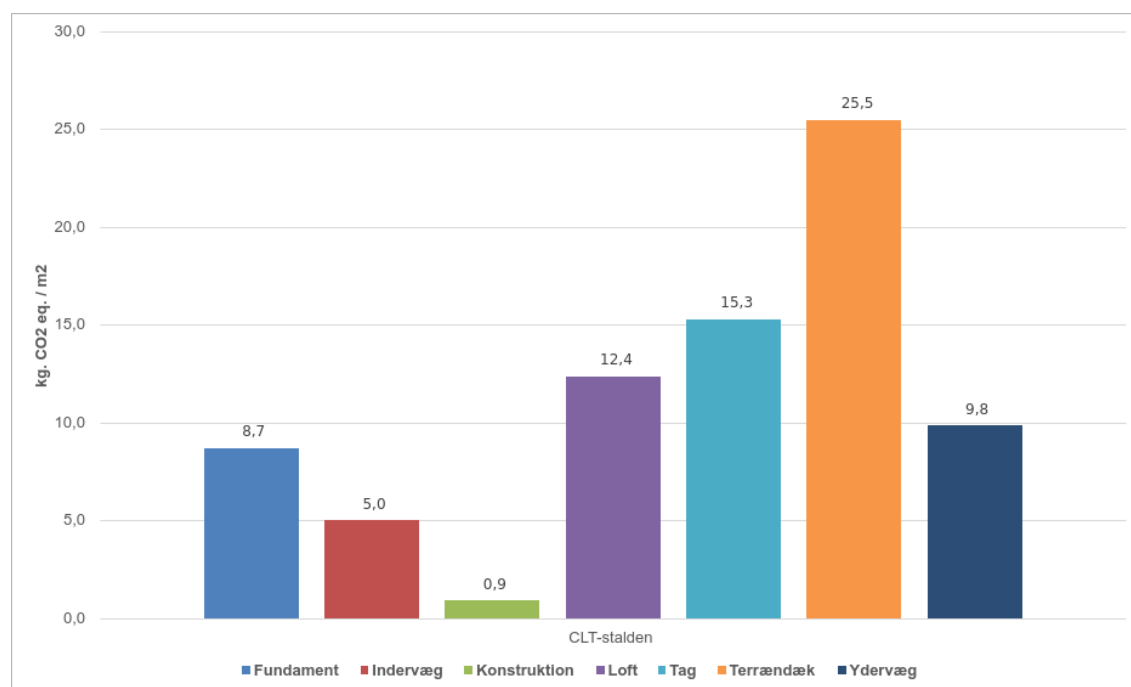
Bygningsdele	Identisk	Anderledes
Terrændæk	X	
Loft	X	
Ydervægge		X
Indervægge		X
Tag	X	
Fundament	X	

Tabel 6.4: Oversigt over udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen, samt identiske bygningsdele, mellem CLT-stalden og Totalstalden

Det ses på Tabel 6.4, at kun indervægge og ydervægge varierer mellem Totalstalden og CLT-stalden¹³. Resten af bygningsdelene er således identiske – både i opbygning og mængder.

6.4 LCA-resultater for CLT-stalden

LCA-resultaterne (GWP), lavet i LCAbyg 3.2, for forskellige bygningstyper i CLT-stalden kan ses på Figur 6.2. Her ses det, at loftet i CLT-stalden har det største bidrag til GWP. Kategorien "konstruktion" dækker over konstruktionstræ som bruges til tagspær. Ydervægge har det højeste CO₂-aftryk efter loftet og tag og fundament (randfundament) deler en 3. plads.



Figur 6.2: CLT-stalden: LCA-resultat (GWP) for udvalgte bygningstyper

¹³Gavle er med i bygningsdelen "ydervægge"

6.5 Sammenligning af LCA-resultater

På Figur 6.2 ses det, at både ydervægge og indervægge i CLT-stalden har et lavere CO₂-aftryk end for Totalstalden.

Tabel 6.5 præsenterer en overskuelig sammenligning af udledningerne (GWP) fra de udvalgte bygningstyper for Totalstalden og CLT-stalden.

Bygningsdel	Bygningskomponent	[kg. CO ₂ eq. / m ²]	Mængde (FU) ¹⁴
Terrændæk			
CLT-stald	Terrændæk	25,5	970+550 m ²
Totalstald	Terrændæk	25,5	970+550 m ²
Loft			
CLT-stald	Loft, træbetonloft + mineraluld	12,4	1.715 m ²
Totalstald	Loft, træbetonloft + mineraluld	12,4	1.715 m ²
Ydervæg			
CLT-stald	Ydervæg + Gavl	9,8	429 m ² + 120 m ²
Totalstald	Ydervæg + Gavl	14,7	429 m ² + 120 m ²
Indervæg			
CLT-stald	Indervæg, CLT inkl. fibergips	5,0	434 m ²
Totalstald	Indervæg, letbeton	7,0	434 m ²
Tag			
CLT-stald	Konstruktion, tagspær / gitterspær	1.594	27,8 m ³ / 262 m ³
CLT-stald	Tag, fibercementbølgeplader	15,3	1.874 m ²
Totalstald	Konstruktion, tagspær / gitterspær	0,88	27,8 m ³ / 262 m ³
Totalstald	Tag, fibercementbølgeplader	15,3	1.874 m ²
Fundament			
CLT-stald	Randfundament	8,7	184 lbm.
Totalstald	Randfundament	8,7	184 lbm.
CO₂-udledning TOTAL			
CLT-stald	77 [kg. CO₂ eq. / m²]		
Totalstald	84 [kg. CO₂ eq. / m²]		

Tabel 6.5: CO₂-udledning fra forskellige bygningsdele for Totalstalden og CLT-stalden

CO₂-belastningen fra ydervægge (inkl. gavle) er reduceret med

$$\frac{14,7 - 9,8}{14,7} = 33\% \quad (6.2)$$

CO₂-belastningen fra indervæggene er reduceret med

$$\frac{11.858 - 8.515}{11.858} = 29\% \quad (6.3)$$

Reduktionen for de enkelte bygningsdele, isoleret set, er altså markant. Ydervæggene kan reducere sit CO₂-aftryk med 33 % ved at opbygge væggen som beskrevet i Tabel 6.1 fremfor som den er opbygget i Totalstalden; ydervæggene kan reducere sit GWP med 29 % ved at benytte en løsning med CLT elementer og fibergips frem for letbetonelementer.

¹⁴Mængde til de funktionelle enheder (FU) som beskrevet i tabel 2.1

6.6 LCA-optimering af CLT-stalden

Isoleringen i CLT-staldens ydervægge er PU-skum isolering – ligesom der bruges i Totalstalden. PU-skum har dog en væsentligt højere CO₂-udledning end både mineraluldsisolering og træfiberisolering, se Figur 5.1 som sammenligner CO₂-aftrykket mellem 1 m² af de fire isoleringsmaterialer – alle med en U-værdi på 0,28 (100 mm PU-skum isolering, 122 mm mineraluldsisolering og 136 mm træfiberisolering¹⁵).

Det ses tydeligt på figuren, at PU-skum har et markant højere CO₂-aftryk end både mineraluldsisolering og træfiberisolering.

Der er dermed mulighed for at forbedre både Totalstalden og CLT-staldens CO₂-aftryk ved at udskifte PU-skum isolering med enten mineraluldsisolering eller træfiberisolering.

6.6.1 Alternativ ydervæg med et andet isoleringsmateriale

Benyttes 145 mm træfiberisolering i ydervæggene i CLT-stalden (nærmeste dimension for spærtræ, som giver samme U-værdi for væggen), i stedet for 100 mm PU-skum isolering, vil ydervæggens opbygning se lidt anderledes ud, se Tabel 6.6.

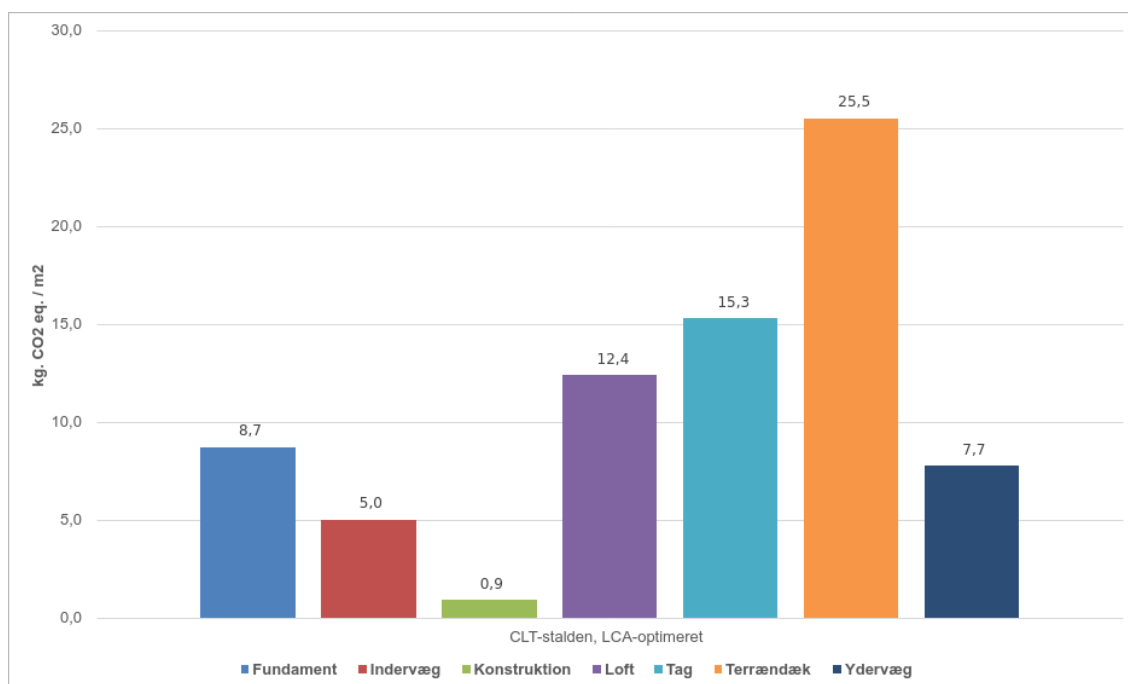
Materiale	Tykkelse	Mængde (total)
<i>Udvendigt</i>		
Bræddebeklædning	25 mm	429 m ²
Afstandslister, 22x45 mm, c-c = 300 mm	22 mm	0,0033 m ³ /m ²
Vindspærre, træfiberplade	12 mm	429 m ²
Reglar, 45x145 mm, c-c = 600 mm	145 mm	0.0109 m ³ /m ²
Træfiberisolering	145 mm	429 m ²
CLT	120 mm	429 m ²
Fibercementplader, 2 stk. forskudt i 1,5 m højde	2 x 6 mm	268 m ² ¹⁶
<i>Indvendigt</i>		

Tabel 6.6: CLT, Ydervæg med træfiberisolering

CO₂-aftrykket fra denne CLT-ydervæg med træfiberisolering kan ses på Figur 6.3. Det ses at GWP for ydervægge er faldet fra 9,8 [kg. CO₂ eq. / m²] til 7,7 [kg. CO₂ eq. / m²].

¹⁵100 mm PU-skum isolering har en U-værdi på 0,28. 100 mm af den benyttede Rockwool og ISOVER mineraluldsisolering har en U-værdi på 0,34. 100 mm af den benyttede træfiberisolering har en U-værdi på 0,38. For at sammenligne 1 m² isolering med den samme U-værdi, må mineraluldsisoleringen have en tykkelse på 122 mm: $R = \frac{0,122}{0,034} = 3,57$; $U = \frac{1}{3,57} = 0,28$, træfiberisolering må have en tykkelse på 136 mm: $R = \frac{0,136}{0,038} = 3,57$; $U = \frac{1}{3,57} = 0,28$

¹⁶Faktor til beregning af nyt antal m² = oprindelig lofthøjde på fibercementplader: 2,4 m. Faktor = $\frac{1,5}{2,4} = 0,625$



Figur 6.3: CLT-stalden: GWP for LCA-optimeret design med træfiberisolering

Tabel 6.7 giver et overskueligt overblik over udledningen fra den oprindelige ydervæg i CLT-stalden og den LCA-optimerede version med træfiberisolering.

Bygningsdel	Bygningskomponent	[kg. CO ₂ eq. / m ²]	Mængde (total)
Ydervæg			
CLT-stald, optimeret ¹⁷	Ydervæg	7,7	429 m ²
CLT-stald, oprindelig ¹⁸	Ydervæg	9,8	429 m ²
(Totalstald, oprindelig)	(Ydervæg)	(14,7)	(429 m ²)
CO ₂ -reduktion		2,1	

Tabel 6.7: CO₂-udledning fra CLT-staldens ydervæg med træfiberisolering

Den nye CLT-ydervæg med 145 mm træfiberisolering har en CO₂-udledning på 7,7 [kg. CO₂ eq. / m²] i modsætning til den oprindelige CLT-ydervæg på næsten 10 [kg. CO₂ eq. / m²]. Det svarer til en reduktion på

$$\frac{9,8 - 7,7}{9,8} = 21\% \quad (6.4)$$

Ved at udskifte PU-skum isolering med træfiberisolering i ydervæggene, kan CLT-staldens CO₂-udledning fra ydervægge reduceres med 21 %.

I forhold til Totalstaldens ydervægge¹⁹, er det en reduktion på

$$\frac{14,7 - 7,7}{14,7} = 48\% \quad (6.5)$$

¹⁷ 145 mm træfiberisolering

¹⁸ 100 mm PU-skum isolering

¹⁹ med PU-skum isolering

CLT-staldens samlede CO₂-udledning med træfiberisolering fremgår af Tabel 6.8.

CO ₂ -udledning TOTAL	
CLT-stald, optimeret²⁰	75 [kg. CO₂ eq. / m²]
CLT-stald, oprindelig ²¹	77 [kg. CO ₂ eq. / m ²]
(Totalstald, oprindelig)	(84 [kg.CO ₂ eq./m ²])

Tabel 6.8: CO₂-udledning fra CLT-stalden med træfiberisolering

CLT-stalden med træfiberisolering i ydervæggene har reduceret den samlede CO₂-udledning med

$$\frac{84 - 75}{84} = 11\% \quad (6.6)$$

i forhold til Totalstalden.

6.7 Konklusion på LCA-resultater

Konklusionen på sammenligningen af LCA-resultaterne mellem de 6 udvalgte bygningsdele (jf. Tabel 6.4) er, at CLT-stalden kan reducere CO₂-udledningen for ydervæggene med over 33% blot ved at udskifte betonen i ydervæggene med CLT elementer. Udledningen for indervægge kan ligeledes reduceres markant med 29 %, hvilket medfører at det samlede CO₂-aftryk for CLT-stalden er reduceret med mere end 8 %.

Udskiftes PU-skum isolering i ydervæggene med træfiberisolering, opnås en reduktion af CO₂-aftrykket for ydervæggene på over 23 % isoleret set for CLT-stalden. Sammenlignes med Totalstalden svarer det til en reduktion på næsten 50 % og en samlet CO₂-udledning for hele CLT-stalden som er reduceret med næsten 11 % i forhold til Totalstalden.

Det var forventet, at CLT-stalden ville have et lavere CO₂-aftryk, eftersom en direkte sammenligning mellem beton C25/30 og CLT viste, at CLT har en væsentligt lavere CO₂-udledning²² i forhold til beton. Der er mulighed for at opnå en essentiel reduktion af CO₂-aftrykket fra ydervæggene i Totalstalden ved at bruge den foreslåede løsning til ydervægge²³ jf. Tabel 6.1.

En ydeligere reduktion af CO₂-aftrykket fra ydervæggene på over 23 % kan opnås ved at bruge træfiberisolering i stedet for PU-skum isolering. Begge typer mineraluldsisolering (stenuld eller glasuld) har også en lavere CO₂-udledning end PU-skum, og vil dermed også medføre til en samlet reduktion, hvis det benyttes frem for PU-skum isolering.

Slutteligt kan det konkluderes, at der må findes et stort potentiale i at finde et alternativ til terrændækket i Totalstalden, som er det mest CO₂-belastende bygningskomponent ifølge resultaterne fra Figur 6.2. Der er ikke undersøgt alternativer til terrændækket, da der ikke kendes til gode og velprøvede løsninger, som kan opfylde kravene til det hårde miljø der er i en svinestald.

²⁰ydervægge med 145 mm træfiberisolering

²¹ydervægge med 100 mm PU-skum isolering

²²Se Figur 6.1

²³Ydervægge samt Gavle

6.8 Design for adskillelse

Potentialet i genanvendelse af visse bygningsmaterialer fra CLT-stalden kan være stort. CLT har en forventet levetid på op til 120 år ligesom beton (Aagaard m.fl. 2013), bl.a. fordi det sidder beskyttet inde i konstruktionen og dermed ikke bliver udsat for slid, vind og vejr.

Andre bygningsmaterialer, såsom bræddebeklædningen, må forventes at skulle kasseres når CLT-stalden har nået sin forventede levetid på 40 år. Hvis træet til bræddebeklædningen kommer fra bæredygtig skovdrift²⁴, så er det ikke umiddelbart noget, miljømæssigt, problem at skulle kassere bræddebeklædningen efter den forventede levetid for svine-stalden.

Fibercementplader, isolering og konstruktionstræ må generelt anses for, at være bygningsmaterialer som er svære at genanvende direkte igen i et nyt byggeri på en (også økonomisk) meningsfuld måde. Dels fordi disse materialer kan være svære at skille ad uden at beskadige dem, dels fordi de kan være udsat for et stort slid i deres levetid.

Derfor må CLT, umiddelbart, anses for at være ét af de bygningskomponenter, som har størst potentiale til at blive genanvendt direkte igen i et nyt byggeri fra CLT-stalden eftersom dette bygningsmateriale både sidder beskyttet og har en væsentligt længere forventet levetid end svinestalden. Med CLT elementernes vægt på mere end 24 ton fra ydervæggene og mere end 20 ton fra indervæggene i CLT-stalden, er der altså mulighed for at genanvende op til 44 ton CLT elementer²⁵. Til at beregne det indlejrede potentiale ift. GWP, bruges D-modulet fra den relevante EPD for CLT (EPD-Danmark 2020a).

6.8.1 Potentiale for genanvendelse -- D-modul

D-modulet og hvad det omfatter i en EPD er beskrevet nærmere i Kapitel 4.7.

CLT har et relativt stort potentiale i forhold til genanvendelse og genbrug, hvilket også kommer til udtryk i den relevante EPD for CLT. D-modulet er således opgivet til

$$\frac{-57,4 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]}}{1 \text{ m}^3 \text{ CLT}} \quad (6.7)$$

Det betyder at det samlede potentiale ved genanvendelse og genbrug, som dermed erstatter produktionen af ny CLT, er

$$-57,4 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]} \cdot 95 \text{ m}^3 \text{ CLT} = -5.453 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]} \quad (6.8)$$

Dvs. det samlede potentiale for D-modulet er en reduktion på næsten 5.5 [ton CO₂ eq.] svarende til

$$\frac{-5.453 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq.]}}{1.715 \text{ m}^2} = -3,2 \text{ [kg. CO}_2 \text{ eq. / m}^2] \quad (6.9)$$

i forhold til CLT-staldens størrelse på 1.715 m². Dette er det højeste potentiale sammenlignet med både Stålstaldens på -2,5 [kg. CO₂ eq. / m²] og Totalstaldens på -0,3 [kg. CO₂ eq. / m²]. Dette skal ses som en indikator for, at CLT har et stort indlejret potentiale for GWP som kan indfries hvis det bliver genanvendt korrekt og dermed medvirker til en reduceret produktion af ny CLT.

Dermed kan det konkluderes, at der ligger et fornuftigt potentiale i D-modulet og genanvendelsespotentiale for CLT.

En samlet oversigt over de beregnede D-moduler for de tre stalde kan ses i Kapitel 7.

²⁴eksempelvis www.dk.fsc.org/dk-dk/hvad-er-fsc

²⁵se appendiks E.1

6.9 Konklusion på CLT-stalden

CLT-stalden lider ikke af de samme ulemper som Stålstalden, i forhold til bygningens geometri, eftersom der er taget udgangspunkt i Totalstaldens geometri samt opbygning af bygningsdele. Der er blevet præsenteret et alternativt bygningsdesign til Totalstalden med (essentielle) ændringer i ydervægge, indervægge og gavle. Det viser sig at CLT-stalden har en CO₂-udledning som er mere end 8 % lavere end Totalstaldens. Dette skyldes primært udskiftningen af betonen i ydervægge og indervægge med træbaserede løsninger (CLT).

Optimering af bygningskomponenter: isoleringsmateriale

De første sammenligninger mellem CLT-stalden og Totalstalden blev baseret på, at CLT-stalden benytter det samme isoleringsmateriale som i Totalstalden, PU-skum. Udskiftes dette isoleringsmateriale med et andet, mindre CO₂-belastende alternativ, kan udledningerne fra CLT-stalden reduceres yderligere.

CO₂-aftrykket fra CLT-staldens ydervægge kan, isoleret set, reduceres med over 21 % – det betyder at CLT-stalden har reduceret CO₂-udledninger fra ydervæggene med knap 50 % i forhold til Totalstalden.

En CLT-stald med træfiberisolering har således et samlet CO₂-aftryk der er mere end 11 % lavere end Totalstalden.

Potentiale for genanvendelse

CLT elementerne har et stort potentiale i at blive adskilt og genanvendt i et nyt byggeri. De er typisk samlet med skruesamlinger eller beslag og derudover har de en lang levetid på op til 120 år. Derfor er D-modulet fra den relevante EPD for CLT²⁶ blevet beregnet til -3,2 [kg. CO₂ eq. / m²], hvilket også viser at der ligger et potentiale i at CLT'en bliver genanvendt og erstatter produktionen af ny CLT. Dette er da også det største D-modul som er blevet beregnet mellem de tre staldtyper i rapporten.

Opsummering

Det kan konkluderes samlet set, at der er et stort potentiale i at bygge med CLT frem for beton, hvis ønsket er at bygge staldbygninger med et lavere CO₂-aftryk. Derudover er CLT et "nemt" alternativ til beton, eftersom det har nogle af de samme statiske egenskaber som beton i forhold til sin afstivende skiveeffekt i både bærende indervægge- og ydervægge.

Erstattes PU-skum isolering med træfiberisolering (eller mineraluldsisolering) er der endnu en oplagt mulighed for at nedbringe CO₂-aftrykket fra staldbygningen yderligere.

Design for adskillelse og direkte genanvendelse er endnu en parameter som med fordel kan udnyttes når der bygges med CLT, som også vil have en positiv effekt på staldbygningens samlede CO₂-aftryk i fremtiden.

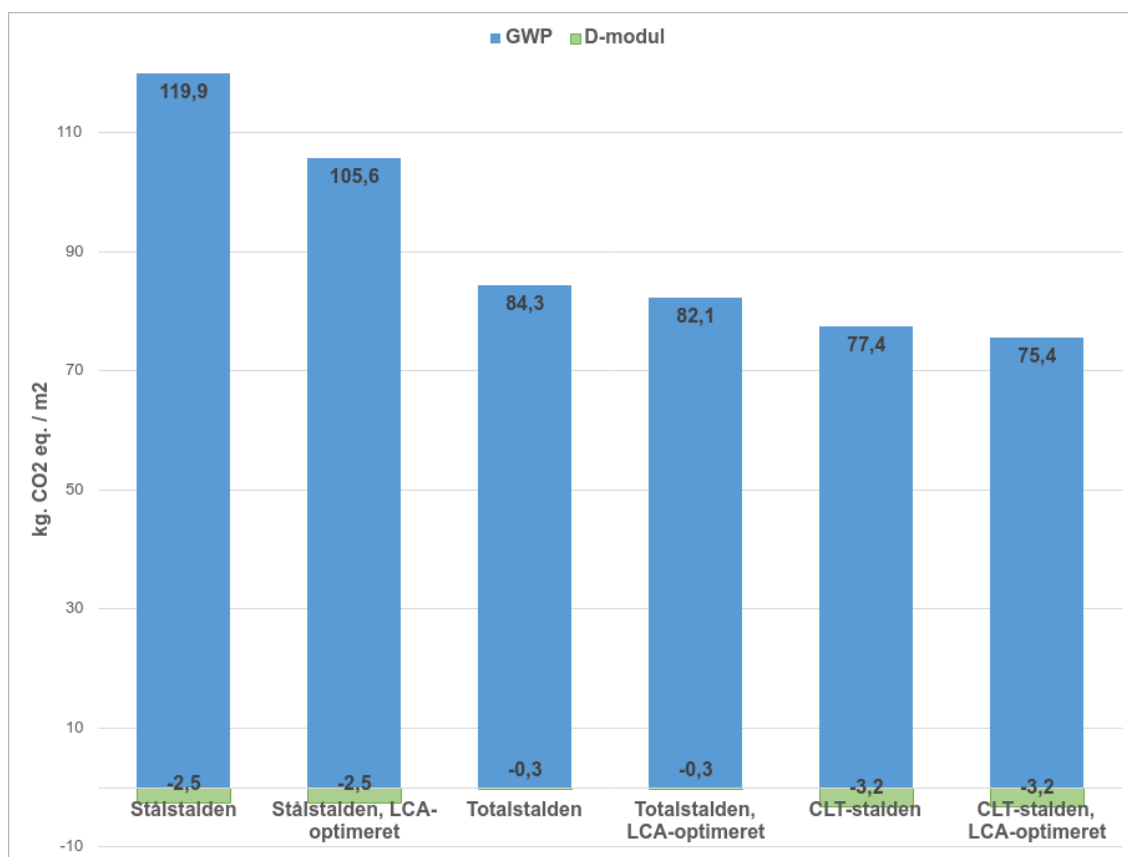
²⁶EPD: (epd_clt)

7 Samlede resultater og anbefalinger

Der er blevet behandlet flere forskellige designløsninger, materiale-alternativer og optimeringer af både Totalstalden, Stålstalden og CLT-stalden. Dette kapitels formål er, at samle og sammenligne de essentielle resultater fra rapporten, således at en samlet konklusion og anbefaling kan sammenfattes.

7.1 Samlede resultater

De samlede resultater kan ses på Figur 7.1 for både det oprindelige og LCA-optimerede design af de tre staldtyper. Her ses det, at Stålstalden har det højeste GWP, Totalstalden placerer sig i midten, og CLT-stalden har både med sit oprindelige og LCA-optimerede design, det laveste GWP blandt alle tre staldtyper. Ligeledes er CLT-staldens D-modul for CLT i indervægge- og ydervægge det højeste på -3,2 [kg. CO₂ eq. / m²].



Figur 7.1: GWP for Totalstalden, Stålstalden og CLT-stalden

Tabel 7.1 giver et samlet overblik over resultaterne fra Figur 7.1.

Totalstalden	[kg. CO ₂ eq. / m ²]
Oprindelig	84,3
LCA-optimeret ¹	82,1
D-modul	-0,3
Stålstalden	
Oprindelig	119,9
LCA-optimeret ²	105,6
D-modul	-2,5
CLT-stalden	
Oprindelig	77,4
LCA-optimeret ³	75,4
D-modul	-3,2

Tabel 7.1: GWP for Totalstalden, Stålstalden og CLT-stalden

I forhold til "genanvendelsespotential" udtrykt i D-modulet, er det kun beregnet for beton (for Totalstalden), stål (for Stålstalden) og CLT (for CLT-stalden). Dette skyldes primært at disse bygningskomponenter har en væsentligt længere forventet levetid, op til 120 år, i forhold til en svinestald på blot 40 år, og dermed forventes at have en lang resterende levetid efter staldens levetid.

¹ydervægge med 136 mm træfiberisolering

²bygningsdelene "loft" og "tag" ændret så de er identiske med Totalstaldens

³ydervægge med 136 mm træfiberisolering

7.2 Totalstalden

Totalstalden har som baseline i denne rapport placeret sig i midten af resultaterne. Den scorer hverken bedst eller dårligst i nogle af scenarierne fra Tabel 7.1.

Men i forhold til design for adskillelse og direkte genanvendelse, er det nærliggende at drage den konklusion, at Totalstaldens betonelementer fra både indervægge og ydervægge er de mest problematiske og skaber nogle udfordringer – sammenlignet med stålrammerne og CLT-elementerne. Dette kommer dog også til udtryk i Totalstaldens meget lave D-modul, sammenlignet med de to andre stalde.

Totalstaldens ”optimerede” design, hvor PU-skum isolering erstattes med træfiberisolering, reducerer alene det samlede CO₂-aftryk for stalden med 2,6 %.

Isoleringen i ydervæggene vejer samlet ca. 1,3 ton⁴. De 6 bygningsdele i Totalstalden, som er brugt til LCA-beregningerne⁵, vejer tilsammen mere end 713 ton. Det vil sige, at isoleringen udgør ca.

$$\frac{1,3}{713} = 0,18\% \quad (7.1)$$

af den samlede bygningsmasse. Det er et vidne om, at relativt små ændringer og udskiftninger i et enkelt bygningskomponent, som ikke nødvendigvis fylder meget i hverken vægt eller procent af den samlede bygningsmasse, godt kan have en betydelig effekt på en konstruktions GWP.

7.2.1 Anbefalinger

Anbefalingerne til Totalstalden er:

- Det skal undersøges, om et alternativt isoleringsmateriale kan erstatte PU-skum. Det bedste alternativ ift. GWP er umiddelbart træfiberisolering, pga. lavt CO₂-aftryk kombineret med gode tekniske egenskaber ift. eksempelvis fugttransport, men også stenuld og især glasuld scorer væsentligt bedre end PU-skum isolering ift. GWP
- Potentialet i direkte genanvendelse af beton i ydervægge og indervægge kan være stort, og muligheder for dette i fremtiden bør undersøges og udforskes. Med nutiden teknologier, er genanvendelsespotentialet for beton meget begrænset, hvilket kommer til udtryk i det meget lave D-modul som er beregnet for betonen i Totalstalden
- Tagkonstruktionen af fibercementplader viste sig at score mærkbart bedre, end ståltrapezpladerne i Stålstalden. Derudover har fibercementpladerne også en længere forventet levetid end ståltrapezplader. Derfor er den umiddelbare anbefaling, at fibercementplader altid bør vælges over ståltrapezplader
- Terrændækket er for alle tre staldtyper den bygningsdel med det største CO₂-aftryk. Dermed vil der være et enormt potentiale i at nedbringe udledningerne fra terrændækket – på sigt vil dette være helt nødvendigt, hvis svinestalde i fremtiden skal bygges med en minimal klimabelastning. Denne rapport har ikke behandlet alternativer til terrændækket, som er identisk for alle tre staldtyper, men det er umiddelbart et af de steder med størst potentiale for at nedbringe klimabelastningen fra svine-stalde (og byggeri generelt)

⁴se appendiks D.1

⁵jf. Tabel 4.5

7.3 Stålstalden

Stålstaldens stålrammer viste sig på flere parametre at egne sig godt til design for adskillelse og genanvendelse eller genbrug. Stålrammerne har en betydeligt længere levetid end selve stalden på op til 120 år. Det kunne dermed være muligt at adskille stålrammerne fra en udtjent Stålstald og bruge dem direkte igen i en ny Stålstald (med samme bredde).

Beregnes D-modulet for konstruktionsstålet i Stålstalden, viser det sig også at der ligger et potentiale i en reduktion af GWP heri. Dog er den anvendte EPD for konstruktionsstål allerede bestående af 78 % genanvendt stål, hvorfor D-modulet ikke er enormt for den anvendte stål.

Stålstaldens LCA-optimerede design, med samme loft- og tagkonstruktion som Totalstalden viste sig at have en meget positiv effekt på Stålstaldens GWP. Derfor anbefales det, hvis en Stålstald igen skal opføres, at opsøge samme konstruktionsopbygninger for disse top bygningsdele som Totalstalden.

7.3.1 Anbefalinger

Anbefalingerne til Stålstalden er:

- Stålstaldens grundlæggende bygningsdesign er svært at anbefale, hvis ønsket er at bygge fremtidens svinestalde med et mindre CO₂-aftryk, eftersom den scorer dårligere end både Totalstalden og CLT-stalden – både i dens oprindelige og LCA-optimerede design
- Hvis Stålstalden skal optimeres ift. GWP, bør der eksperimenteres med at ændre den grundlæggende geometri, så den minder mere om Totalstalden i grundplan – på den måde vil mængden af randfundament og ydervæg i forhold til grundplanet blive reduceret betydeligt. derudover bør alternative løsninger til især loft og tag, men også sandwichpaneler undersøges. Disse tre bygningsdele har alle tre et meget højt GWP sammenlignet med andre kendt, velfungerende løsninger
- Stålstaldens loft og tag, men også ydervægge med PU-skum har et meget højt GWP, sammenlignet med andre kendte og velfungerende løsninger. Derfor bør et alternativ, gerne træbaseret, undersøges i stedet
- Stålstaldens stålrammer bør, hvis muligt, altid blive adskilt og genanvendt, eftersom en af fordelene ved konstruktionsstålet er, at det kan genanvendes og indgå i produktionen af nyt konstruktionsstål

Stålstalden kan på baggrund af resultaterne i denne rapport ikke anbefales, hvis ønsket er at bygge fremtidens svinestalde med et mindre klimaaftrek særligt inden for GWP.

7.4 CLT-stalden

CLT-stalden har det laveste CO₂-aftryk blandt de tre staldtyper jf. de opsummerede resultater fra Tabel 7.1.

CLT-stalden har, ligesom de to andre staldtyper, stadig en enorm udledning fra terrændækket sammenlignet med de øvrige bygningsdele (jf. Figur 6.2). Det efterlader et stort potentiale for at nedbringe CO₂-aftrykket fra CLT-stalden, hvis der kan findes et alternativ til terrændækket, som har mindre miljøpåvirkninger.

7.4.1 anbefalinger

Anbefalingerne til CLT-stalden er:

- CLT-stalden bør ikke benytte PU-skum isolering, men i stedet minerauldisolering eller endnu bedre træfiberisolering
- Fibercementpladerne i 1,2 meter højde på indersiden af alle CLT-elementer har relativt høj andel af både indervægge og ydervægges CO₂-aftryk. Derfor bør det undersøges, om fibercementplader i 2 lag er nødvendige, eller om et alternativ, gerne en træbaseret plade, kan bruges i stedet
- Bygges regnskærmen rigtigt, kan en ubehandlet træfacade i Rødgran eller Skovfyr holde i hele staldens levetid. På den måde undgås både brug af (klimabelastende) maling, og udgifter i forbindelse med vedligehold af træfacaden kan også undgås. Konstruktiv beskyttelse i form af tagudhæng samt godt håndværk i forbindelse med opsætning af brædderne, sikre ubehandlede brædders levetid i mange år
- CLT-staldens fundament, som er identisk til Totalstaldens fundament, kan muligvis optimeres eftersom CLT-elementerne har en væsentligt lavere densitet end den beton, som er brugt i Totalstalden. Dette bør undersøges nærmere
- Et mindre miljøbelastende alternativ til terrændækket har umiddelbart det største potentiale ift. at nedbringe klimaaftrykket yderligere fra CLT-stalden

Bibliography

- Aagaard, Niels-Jørgen m.fl. (2013). „Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi“. I: URL: www.sbi-dk.proxy.findit.dtu.dk/Pages/Levetider-af-bygningsdele-ved-vurdering-af-baeredygtighed-og-totaloekonomi.aspx#s=2013:30.
- Mahdi, Vania m.fl. (2021). „DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'“. I: c2ccertified.org (2017). *What Is Design for Disassembly?* URL: www.c2ccertified.org/news/article/what-is-design-for-disassembly.
- Hauschild, Michael Z., Ralph K. Rosenbaum og Stig Irving Olsen (2018). *Life Cycle Assessment – Theory and Practice*. Springer. ISBN: 978-3-319-56474-6.
- GRÅKJÆR (2021). *TOTALstalden*. URL: www.graakjaer.dk/totalstalden.
- vuggetilvugge.dk (2021). *Cirkulær Økonomi*. URL: www.vuggetilvugge.dk/viden-om/cirkulaer-oekonomi/.
- Give-Steel-A/S (2020). „EPD of 1 ton of structural steel; EPD No.: MD-20042-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.
- European-Association-for-Panels-and-Profiles (2018). „EPD of Double skin steel faced sandwich panels with a core made of polyurethane; EPD No.: EPD-PPA-20180076-CBG1-EN“. I: URL: www.ibu-epd.com.
- EPD-Danmark (2021). *Hvad er en EPD?* URL: www.epddanmark.dk/om-epder/hvad-er-en-epd/.
- Astrup, Thomas F. (2014). *Genanvendelse af byggematerialer: Hvordan kan vi gøre det bedre?* URL: www.bygge-anlaegsavisen.dk/genanvendelse-af-byggematerialer.
- Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen (2020a). „Fabriksbeton styrkeklasse C25/30; EPD No.: MD-20011-DA“. I: URL: www.epddanmark.dk.
- EPD-Danmark (2020a). „Cross Laminated Timber; EPD No.: MD-20007-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.
- Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen (2020b). „Letbeton vægelement; EPD No.: MD-20016-DA“. I: URL: www.epddanmark.dk.
- Cembrit-Holding-A/S (2016a). „Cembrit Corrugated sheets; EPD No.: EPD-CEM-20160114-IAD1-EN“. I: URL: www.bau-umwelt.com.
- EPD-Norge (2017). „Hunton Undertak; EPD No.: PGRF/346/623/PQ“. I: URL: www.epd-norge.no.
- Cembrit-Holding-A/S (2016b). „Cembrit Construction Board; EPD No.: MD-16001-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.
- Træ.dk-c/o (2020). „Sawn and dried construction wood products of pine and spruce; EPD No.: MD-20002-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.
- IBU (2018). „Profiled sheets made of steel for roof, wall, deck and ceiling constructions; EPD No.: EPD-PPA-20180077-CBG1-EN“. I: URL: www.ibu-epd.com.
- PU-Europe (2014). „Polyurethane (PU) board without facing; EPD No.:“ i: URL: www.pu-europe.eu.
- IBU (2019). „ROCKWOOL stone wool thermal insulation; EPD No.: EPD-RWI-20190050-CBD1-EN“. I: URL: www.ibu-epd.com.
- EPD-Norge (2019). „ISOVER Formstykker λ34; EPD No.: NEPD-2611-1324-EN“. I: URL: www.epd-norge.no.
- (2020). „Hunton Trefiberisolasjon Innblåst; EPD No.: NEPD-2286-1041-NO“. I: URL: www.epd-norge.no.

EPD-Danmark (2020b). „FRØSLEV Heatwood solid wood panelling and cladding from Scots pine and Norway spruce; EPD No.: MD-20033-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.
EPD-Norge (2018). „Semullit/Träullit/Baux - White Natural; EPD No.: NEPD-1554-595-EN“. I: URL: www.epd-norge.no.

A Oversigt over EPD'er til LCA-beregninger

En oversigt over de benyttede EPD'er til LCA-beregningerne i LCAbyg 3.2:

- Beton C25/30: [Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen 2020a]
- Letbeton vægelement: [Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen 2020b]
- Fibercementplade, Cembrit B9: [Cembrit-Holding-A/S 2016a]
- CLT: [EPD-Danmark 2020a]
- Vindspærre, Hunton træfiberplade: [EPD-Norge 2017]
- Fibercementplade, Cembrit Construction: [Cembrit-Holding-A/S 2016b]
- Konstruktionsstål: [Give-Steel-A/S 2020]
- Konstruktionstræ: [Træ.dk-c/o 2020]
- Metaltrapezplade: [IBU 2018]
- Sandwichpanel, metal-PU-metal: [European-Association-for-Panels-and-Profiles 2018]
- PU-skum isolering: [PU-Europe 2014]
- Rockwool, stenuld kl. 34: [IBU 2019]
- ISOVER, glasuld kl. 34: [EPD-Norge 2019]
- Træfiberisolering, løsuld kl. 38: [EPD-Norge 2020]
- Bræddebeklædning, Frøslev Heatwood: [EPD-Danmark 2020b]
- Træbetonloft: [EPD-Norge 2018]

B Levetider for bygningsdele, SBi 2013:30

Appendiks F fra SBi 2013:30 (Aagaard m.fl. 2013) med levetider for forskellige bygningsdele, som er brugt til at bestemme levetiderne i denne rapport.

880 hoved-grupper	880 Bygningsdel, grupper	Bygningsdel	Levereds-færdig & monteret	Funktionsl. indhold overalt	Tænkning med hensyn til											Materiale
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1 Bygningsskel	10 Bygningsskel, kerne	1012	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1013	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1014	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1015	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1016	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1017	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1018	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1019	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1020	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1021	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1022	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1023	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1024	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1025	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1026	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 Bygningsskel	20 Bygningsskel, kerne	2012	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2013	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2014	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2015	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2016	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2017	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2018	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2019	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2020	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2021	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2022	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2023	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2024	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2025	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 Bygningsskel	30 Bygningsskel, kerne	3012	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3013	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3014	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3015	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3016	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3017	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3018	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3019	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3020	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3021	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3022	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3023	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3024	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3025	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4 Bygningsskel	40 Bygningsskel, kerne	4012	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4013	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4014	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4015	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4016	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4017	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4018	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4019	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4020	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4021	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4022	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4023	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4024	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4025	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5 Bygningsskel	50 Bygningsskel, kerne	5012	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5013	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5014	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5015	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5016	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5017	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5018	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5019	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5020	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5021	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5022	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5023	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5024	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5025	Bygningsskel, kerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

SSB 2013:0. Levetider af bygningssektore ved vurdering af bæredygtighed og økonomi
Appendix F: Vurderede tekniske og funktionelle middelevetider
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet • November 2013

C Stålstalden

Følgende er et uddrag af tegningsmateriale fra SEGES over Stålstalden, som bruges til at sammenligne Stålstaldens miljøpåvirkninger med Betonstalden.

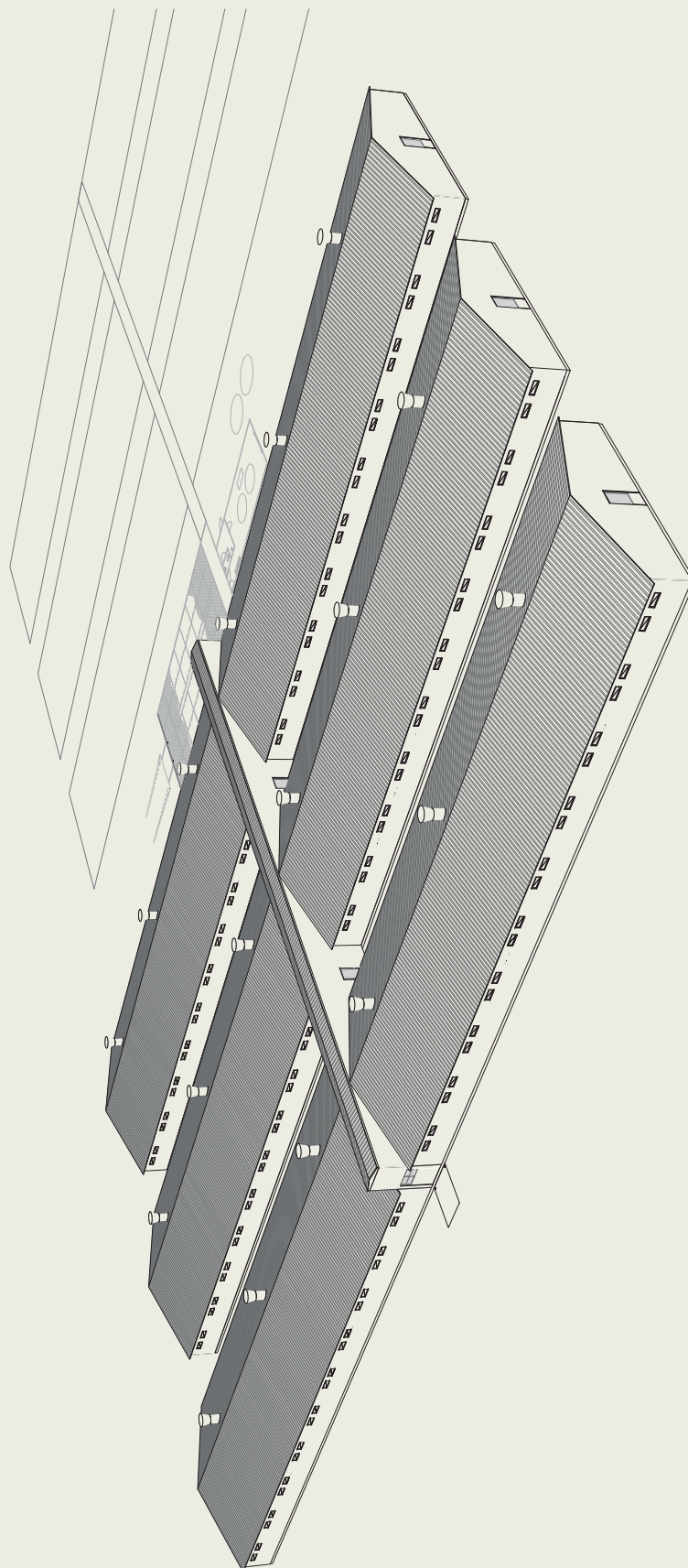
Da der ikke fremgår nogen information i tegningsmaterialet om vægten på stålrammerne, er denne information blevet indhentet direkte fra SEGES af Kenneth Poulsen, se mail på figur C.1.



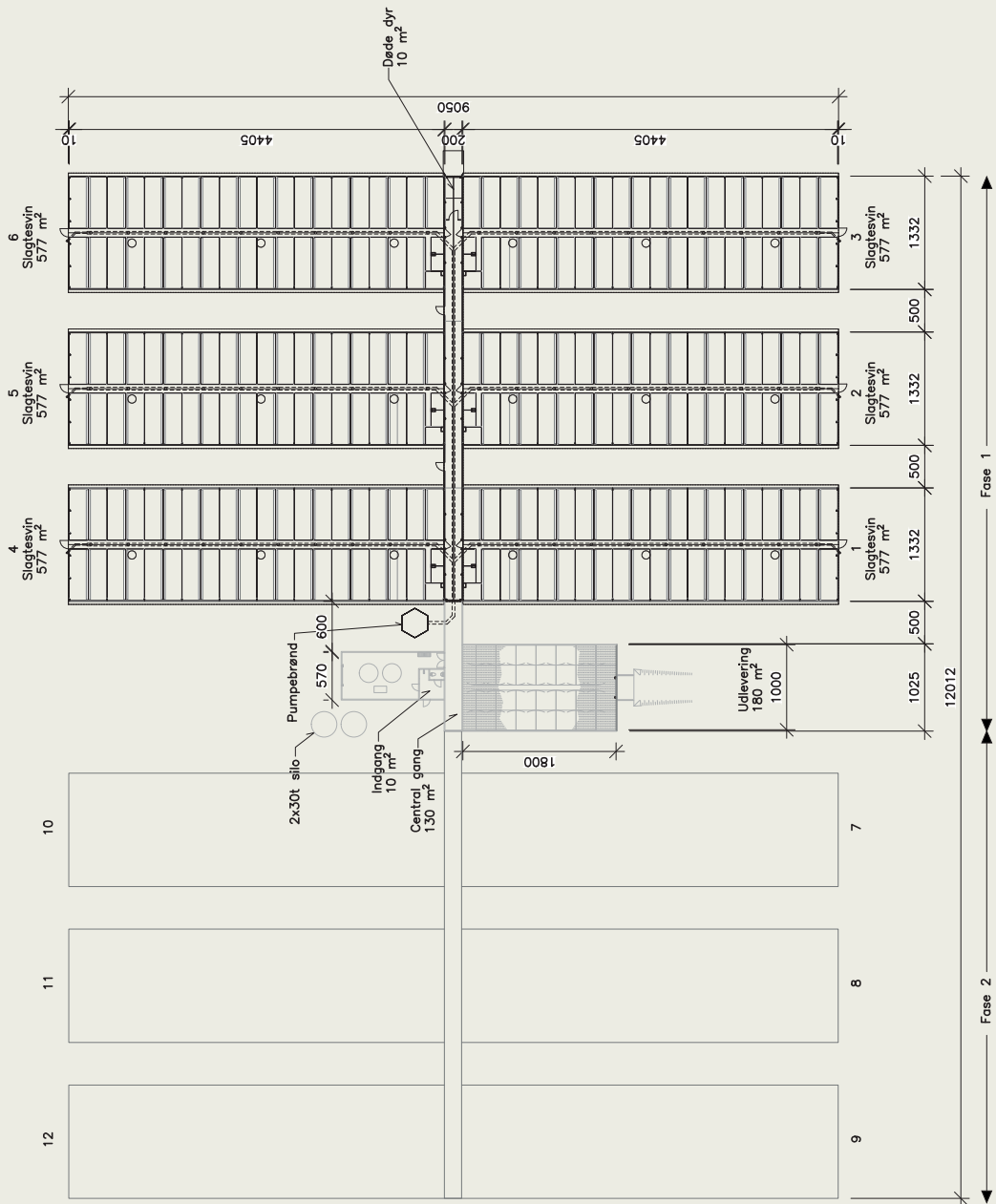
Figur C.1: Mail fra Kenneth Poulsen med beskrivelse af stålmængder på Stålstalden

KONCEPTSTALDEN 1.0

December 2019



PLAN Oversight



C.1 Oversigt over indtastede mængder i LCAbyg 3.2 for Stålstalden

Beskrivelse	Navn	Indtastet mængde		Beregnet mængde	Vægt		
Sum	Bygningsdele	577	m2		219.014,12	kg	
Hovedgruppe	Bygningsbasis				196.725,49	kg	
Type	Fundament				65.792,65	kg	
Bygningsdel	Randfundament - EPD DK	115,00	m		65.792,65	kg	
Konstruktion	Randfundament (iflg. Revit model)				65.792,65	kg	
Byggevarer	Letklinkeblok, massiv - EPD danmark	0,04	m³/m	5,06	m³	3.036,00	kg
Byggevarer	Beton C30/37 - EPD danmark	0,15	m³/m	17,25	m³	38.898,75	kg
Byggevarer	Beton C30/37 Fundablok	0,09	m³/m	10,58	m³	23.857,90	kg
Type	Terrændæk				130.932,84	kg	
Bygningsdel	Kanalbund - EPD DK	577,00	m²		130.748,20	kg	
Konstruktion	Flydebeton				130.748,20	kg	
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark_ kopi 1	0,10	m³/m²	57,70	m³	129.594,20	kg
Byggevarer	Stål, armeringsstål	2,00	kg/m²	1.154,00	kg	1.154,00	kg
Bygningsdel	Sundolit isolering	577,00	m²		184,64	kg	
Konstruktion	Sundolit				184,64	kg	
Byggevarer	Isolering XPS	0,01	m³/m²	5,77	m³	184,64	kg
Hovedgruppe	Primære bygningsdele				15.074,23	kg	
Type	Ydervæg				3.996,65	kg	
Bygningsdel	Ydervæg, Sandwichpanel (metal-PU-metal) - EPD	277,00	m²		3.684,10	kg	
Konstruktion	Ydervæg, Panels-and-Profiles EU, PU-skum				3.684,10	kg	
Byggevarer	Panels-and-Profiles EU, sandwich metalplade+PU	1,00	m²/m²	277,00	m²	3.684,10	kg
Bygningsdel	Gavl (metal-PU-metal) - EPD	23,50	m²		312,55	kg	
Konstruktion	Ydervæg, Panels-and-Profiles EU, PU-skum				312,55	kg	
Byggevarer	Panels-and-Profiles EU, sandwich metalplade+PU	1,00	m²/m²	23,50	m²	312,55	kg
Type	Indervæg				0,10	kg	
Bygningsdel	Indervæg (dummy)	0,10	m²		0,10	kg	
Konstruktion	Indervæg (dummy)				0,10	kg	
Byggevarer	Tom byggevarer	1,00	kg/m²	0,10	kg	0,10	kg
Type	Konstruktion				6.334,68	kg	
Bygningsdel	Tagkonstruktion (træåse) - EPD DK	4,03	m³		1.837,68	kg	
Konstruktion	Træ lægter				1.837,68	kg	
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	1,00	m³/m³	4,03	m³	1.837,68	kg
Bygningsdel	Konstruktionsstål_GIVE - EPD DK	4.497,00	kg		4.497,00	kg	
Konstruktion	Konstruktionsstål_GIVE_Epd danmark				4.497,00	kg	
Byggevarer	Konstruktionsstål_GIVE_Epd danmark	1,00	kg/kg	4.497,00	kg	4.497,00	kg
Type	Tag				4.742,80	kg	
Bygningsdel	Tag (trapezplade) - EPD DK	668,00	m²		4.742,80	kg	
Konstruktion	Metaltrapezplade - EPD				4.742,80	kg	
Byggevarer	Metaltrapezplade - EPD	1,00	m²/m²	668,00	m²	4.742,80	kg
Hovedgruppe	Komplettering				7.214,40	kg	
Type	Loft				7.214,40	kg	
Bygningsdel	Loft (mineraluld+metalplade) - EPD DK	668,00	m²		7.214,40	kg	
Konstruktion	Loft (mineraluld+metalplade)				7.214,40	kg	
Byggevarer	Rockwool isolering (mineraluld) - EPD Danmark	0,14	m³/m²	93,52	m³	2.338,00	kg
Byggevarer	Dampspærre PE pr m²	1,00	m²/m²	668,00	m²	133,60	kg
Byggevarer	Metaltrapezplade - EPD	1,00	m²/m²	668,00	m²	4.742,80	kg

D Totalstalden

D.1 Oversigt over indtastede mængder i LCAbyg 3.2 for Totalstalden

Beskrivelse	Navn	Indtastet mængde	Beregnet mængde	Vægt	
Sum	Bygningsdele	1715 m2		727.931,88 kg	
Hovedgruppe	Bygningsbasis			425.549,88 kg	
Type	Fundament			105.754,38 kg	
Bygningsdel	Randfundament - EPD DK	184,00 m		105.268,24 kg	
Konstruktion	Randfundament (iflg. Revit model)			105.268,24 kg	
Byggevarer	Letklynkeblok, massiv - EPD danmark	0,04 m³/m	8,10 m³	4.857,60 kg	
Byggevarer	Beton C30/37 - EPD danmark	0,15 m³/m	27,60 m³	62.238,00 kg	
Byggevarer	Beton C30/37 Fundablok	0,09 m³/m	16,93 m³	38.172,64 kg	
Bygningsdel	Skillevægfundament	36,50 m		486,14 kg	
Konstruktion	Leca			486,14 kg	
Byggevarer	Letklynkebeton, bagmur	0,02 m³/m	0,69 m³	486,14 kg	
Type	Terrændæk			319.795,50 kg	
Bygningsdel	Groveton, gang - EPD DK	550,00 m²		99.841,50 kg	
Konstruktion	Groveton			99.841,50 kg	
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark	0,08 m³/m²	44,00 m³	98.824,00 kg	
Byggevarer	EPS isolering (Styrofoam ®) til lofter / gulve og som kantisolering B / P-040	0,10 m³/m²	55,00 m³	1.017,50 kg	
Bygningsdel	Sundolit isolering	475,00 m²		152,00 kg	
Konstruktion	Sundolit			152,00 kg	
Byggevarer	Isolering XPS	0,01 m³/m²	4,75 m³	152,00 kg	
Bygningsdel	Kanalbund - EPD DK	970,00 m²		219.802,00 kg	
Konstruktion	Flydebeton			219.802,00 kg	
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark	0,10 m³/m²	97,00 m³	217.862,00 kg	
Byggevarer	Stål, armeringsstål	2,00 kg/m²	1.940,00 kg	1.940,00 kg	
Hovedgruppe	Primære bygningsdele			278.886,50 kg	
Type	Ydervæg			159.547,88 kg	
Bygningsdel	Facade, Beton-PU-Beton - EPD DK	429,00 m²		158.927,34 kg	
Konstruktion	Beton C25/30 med 100 mm PU skum - EPD DK			158.927,34 kg	
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark	0,10 m³/m²	42,90 m³	96.353,40 kg	
Byggevarer	PU-insulation	0,10 m³/m²	42,90 m³	1.329,90 kg	
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark	0,06 m³/m²	25,74 m³	57.812,04 kg	
Byggevarer	Stål, armeringsstål, bruger	8,00 kg/m²	3.432,00 kg	3.432,00 kg	
Bygningsdel	Gavlbeklædning stålplade - EPD DK	87,40 m²		620,54 kg	
Konstruktion	Gavlplade stålplade - EPD DK			620,54 kg	
Byggevarer	Metaltrapezplade - EPD	1,00 m²/m²	87,40 m²	620,54 kg	
Type	Indervæg			70.091,00 kg	
Bygningsdel	Beton skillevæg 100 mm (Letbeton-vægelement) - EPD DK	434,00 m²		70.091,00 kg	
Konstruktion	Letbeton-vægelement - EPD DK			70.091,00 kg	
Byggevarer	Letbeton-vægelement - EPD danmark	1,00 m²/m²	434,00 m²	70.091,00 kg	
Type	Konstruktion			14.357,16 kg	
Bygningsdel	Gitterbjælke tagkonstruktion - EPD DK	5,00 stk.		1.643,88 kg	
Konstruktion	Gitterbjælke - EPD DK			1.643,88 kg	
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,72 m³/stk.	3,61 m³	1.643,88 kg	
Bygningsdel	Tag spær - EPD DK	68,00 stk.		12.713,28 kg	
Konstruktion	Træ spær - EPD DK			12.713,28 kg	
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,41 m³/stk.	27,88 m³	12.713,28 kg	
Type	Tag			34.890,46 kg	
Bygningsdel	Cembrit B9 - EPD DK	1.874,00 m²		31.689,34 kg	
Konstruktion	Fibercementplader - Cembrit B9 - EPD DK			31.689,34 kg	
Byggevarer	Tagplade, Fibercement Cembrit B9 - EPD	1,00 m²/m²	1.874,00 m²	31.689,34 kg	
Bygningsdel	Lægter - tagplade - EPD DK	39,00 stk.		3.201,12 kg	
Konstruktion	Træ lægter - EPD DK			3.201,12 kg	
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,18 m³/stk.	7,02 m³	3.201,12 kg	
Hovedgruppe	Komplettering			23.495,50 kg	
Type	Loft			23.495,50 kg	
Bygningsdel	Loft (Træbeton) - EPD NO	1.715,00 m²		23.495,50 kg	
Konstruktion	Træbetonloft - EPD NO			23.495,50 kg	
Byggevarer	Træbeton, Tråullit white natural - EPD Norge	0,03 m³/m²	42,88 m³	17.150,00 kg	
Byggevarer	Rockwool isolering (mineraluld)	0,14 m³/m²	240,10 m³	6.002,50 kg	
Byggevarer	Dampspærre PE pr m²	1,00 m²/m²	1.715,00 m²	343,00 kg	

D.2 LCAbyg rapport for Totalstalden

Totalstalden_januar2021_v2_Rev.1.0_SAMMENLIGNING

Miljø profil

Miljøvej 99, 9999 Fremtidsbyen

SEGES

Bygningstype: Andet

Opvarmet etageareal: 1,715 m²

Samlet brutto etageareal: 1,715 m²

Start år: 2020

Betragningsperiode: 40 år

Energiforbrug - el: 0 kWh/m² år

Energiforbrug - varme: 0 kWh/m² år

Drift varmforsyning: El

Drift scenario: Fremskrivning 2015-2050

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



LCAbyg 3.2.0.4

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 ₂ eq/m ² år	kg R11 eq/m ² år	kg Ethene eq/m ² år	kg SO ₂ eq/m ² år	kg PO ₄ ⁻³ eq/m ² år	kg Sb eq/m ² år	MJ/m ² år	kWh/m ² år	kWh/m ² år
Drift(D)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bygningsdele(B)	2,108	0,131 x 10 ⁻⁶	0,723 x 10 ⁻³	0,005	0,001	0,003 x 10 ⁻³	15,660	6,875	0,646 x 10 ⁻³
Sum	2,108	0,131 x 10 ⁻⁶	0,723 x 10 ⁻³	0,005	0,001	0,003 x 10 ⁻³	15,660	6,875	0,646 x 10 ⁻³

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 ₂ eq/m ² år	kg R11 eq/m ² år	kg Ethene eq/m ² år	kg SO ₂ eq/m ² år	kg PO ₄ ⁻³ eq/m ² år	kg Sb eq/m ² år	MJ/m ² år	kWh/m ² år	kWh/m ² år
Bygningsbasis (B)	0,854	0,009 x 10 ⁻⁶	0,428 x 10 ⁻³	0,001	0,495 x 10 ⁻³	0,151 x 10 ⁻⁶	5,232	1,610	0,646 x 10 ⁻³
Primære bygningsdele (P)	0,945	0,115 x 10 ⁻⁶	0,208 x 10 ⁻³	0,002	0,602 x 10 ⁻³	0,002 x 10 ⁻³	7,648	3,367	0
Komplettering (K)	0,309	0,007 x 10 ⁻⁶	0,087 x 10 ⁻³	0,001	0,165 x 10 ⁻³	0,250 x 10 ⁻⁶	2,780	1,899	0
Installationer (I)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fordelt på andel af bygningsdelenes samlede resultat									

*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 – Næringsstoftbelastning

- ADPe: Abiotic Depletion Potential, Elements – Abiotisk ressourceudtømming, grundstoffer
- ADPf: Abiotic Depletion Potential, Fossil fuel – Abiotisk ressourceudtømming, 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
Randfundament - EPD DK	Bygningsdel	184 m	105,268.24 kg	-
→ Letklinkeblok, 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
Skillevægfundament	Bygningsdel	36.5 m	486.14 kg	-
→ Letklinkebeton, bagmur	Byggevarer	0.69 m³	486.14 kg	120 år
Grovbeton, gang - EPD DK	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
Sundolit isolering	Bygningsdel	475 m²	152.00 kg	-
→ Isolering XPS	Byggevarer	4.75 m³	152.00 kg	80 år
Kanalbund - EPD DK	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
Facade, Beton-PU-Beton - EPD DK	Bygningsdel	429 m²	158,927.34 kg	-
→ Beton C25/30 - EPD danmark	Byggevarer	42.9 m³	96,353.40 kg	120 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	120 år
→ Stål, armeringsstål, bruger	Byggevarer	3,432 kg	3,432.00 kg	120 år
Gavbeklædning stålplade - EPD DK	Bygningsdel	87.4 m²	620.54 kg	-
→ Metaltrapezplade - EPD	Byggevarer	87.4 m²	620.54 kg	45 år
Beton skillevæg 100 mm (Letbeton-vægelement) - EPD DK	Bygningsdel	434 m²	70,091.00 kg	-
→ Letbeton-vægelement - EPD danmark	Byggevarer	434 m²	70,091.00 kg	120 år
Gitterbjælker, tagkonstruktion - EPD DK	Bygningsdel	5 stk.	1,643.88 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevarer	3.6 m³	1,643.88 kg	120 år
Tag spær - EPD DK	Bygningsdel	68 stk.	12,713.28 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevarer	27.88 m³	12,713.28 kg	120 år
Cembrit B9 - EPD DK	Bygningsdel	1,874 m²	31,689.34 kg	-
→ Tagplade, Fibercement Cembrit B9 - EPD	Byggevarer	1,874 m²	31,689.34 kg	50 år
Lægter - tagflade - EPD DK	Bygningsdel	39 stk.	3,201.12 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark	Byggevarer	7.02 m³	3,201.12 kg	120 år
Loft (Træbeton) - EPD NO	Bygningsdel	1,715 m³	23,495.50 kg	-
→ Rockwool isolering (mineraluld)	Byggevarer	240.1 m³	6,002.50 kg	50 år
→ Træbeton, Träullit white natural - EPD Norge	Byggevarer	42.88 m³	17,150.00 kg	50 år
→ Dampspærre PE pr m²	Byggevarer	1,715 m²	343.00 kg	50 år

E CLT-stalden

E.1 Oversigt over mængder på bygningsdele i LCAbyg 3.2 for CLT-stalden

Beskrivelse	Navn	Indtastet mængde		Beregnet mængde	Vægt
Sum	Bygningsdele	1715	m2		564.844,92 kg
Hovedgruppe	Bygningsbasis				425.549,88 kg
Type	Fundament				105.754,38 kg
Bygningsdel	Randfundament - EPD DK	184,00	m		105.268,24 kg
Konstruktion	Randfundament (iflg. Revit model)				105.268,24 kg
Byggevarer	Letklinkeblok, massiv - EPD danmark	0,04	m³/m	8,10	m³ 4.857,60 kg
Byggevarer	Beton C30/37 - EPD danmark	0,15	m³/m	27,60	m³ 62.238,00 kg
Byggevarer	Beton C30/37 Fundablok	0,09	m³/m	16,93	m³ 38.172,64 kg
Bygningsdel	Skillevægfundament	36,50	m		486,14 kg
Konstruktion	Leca				486,14 kg
Byggevarer	Letklinkebeton, bagmur	0,02	m³/m	0,69	m³ 486,14 kg
Type	Terrændæk				319.795,50 kg
Bygningsdel	Grovbeton, gang - EPD DK	550,00	m²		99.841,50 kg
Konstruktion	Grovbeton_kopi 1				99.841,50 kg
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark_kopi 1	0,08	m³/m²	44,00	m³ 98.824,00 kg
Byggevarer	EPS isolering (Styrofoam *) til lofter / gulve og som kantisolering B / P-040	0,10	m³/m²	55,00	m³ 1.017,50 kg
Bygningsdel	Sundolit isolering	475,00	m²		152,00 kg
Konstruktion	Sundolit kopi 1				152,00 kg
Byggevarer	Isolering XPS	0,01	m³/m²	4,75	m³ 152,00 kg
Bygningsdel	Kanalbund - EPD DK	970,00	m²		219.802,00 kg
Konstruktion	Flydebeton_kopi 1				219.802,00 kg
Byggevarer	Beton C25/30 - EPD danmark_kopi 1	0,10	m³/m²	97,00	m³ 217.862,00 kg
Byggevarer	Stål, armeringsstål_kopi 1	2,00	kg/m²	1.940,00	kg 1.940,00 kg
Hovedgruppe	Primære bygningsdele				115.799,54 kg
Type	Ydervæg				38.081,52 kg
Bygningsdel	Ydervæg, CLT med PU-skum - EPD	429,00	m²		36.616,78 kg
Konstruktion	CLT ydervæg (EOL=incineration), PU, EPD-Danmark				36.616,78 kg
Byggevarer	Træbeklædning, FRØSLEV (Scots pine and Norway spruce) - EPD danmark	0,03	m³/m²	10,73	m³ 4.611,75 kg
Byggevarer	Konstruktionstræ, 22x45, c-c=450mm - EPD DK	0,00	m³/m²	1,42	m³ 645,56 kg
Byggevarer	Vindspærre (Hunton)	1,00	m³/m²	429,00	m³ 1.184,04 kg
Byggevarer	Konstruktionstræ, CLT ydervæg - EPD danmark	0,00	m³/m²	1,45	m³ 660,23 kg
Byggevarer	PU-insulation	0,10	m³/m²	42,90	m³ 1.329,90 kg
Byggevarer	CLT (EOL=incineration)	0,12	m³/m²	51,48	m³ 24.195,60 kg
Byggevarer	Fibercementplade - EPD danmark	0,01	m³/m²	2,57	m³ 3.989,70 kg
Bygningsdel	Gavl, træfacade - EPD	87,40	m²		1.464,74 kg
Konstruktion	Gavl, træfacade				1.464,74 kg
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,01	m³/m²	0,62	m³ 283,96 kg
Byggevarer	Vindspærre (Hunton)	1,00	m³/m²	87,40	m³ 241,22 kg
Byggevarer	Træbeklædning, FRØSLEV (Scots pine and Norway spruce) - EPD danmark	0,03	m³/m²	2,19	m³ 939,55 kg
Type	Indervæg				28.470,40 kg
Bygningsdel	Indervæg, CLT - EPD	434,00	m²		28.470,40 kg
Konstruktion	CLT plade				28.470,40 kg
Byggevarer	CLT (EOL=mix) - EPD danmark	0,10	m³/m²	43,40	m³ 20.398,00 kg
Byggevarer	Fibercementplade - EPD danmark	0,01	m³/m²	2,60	m³ 4.036,20 kg
Byggevarer	Fibercementplade - EPD danmark	0,01	m³/m²	2,60	m³ 4.036,20 kg
Type	Konstruktion				14.357,16 kg
Bygningsdel	Gitterbjælke_tagkonstruktion - EPD DK	5,00	stk.		1.643,88 kg
Konstruktion	Gitterbjælke				1.643,88 kg
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,72	m²/stk.	3,61	m³ 1.643,88 kg
Bygningsdel	Tag spær - EPD DK	68,00	stk.		12.713,28 kg
Konstruktion	Træ spær				12.713,28 kg
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,41	m³/stk.	27,88	m³ 12.713,28 kg
Type	Tag				34.890,46 kg
Bygningsdel	Cembit B9 - EPD DK	1.874,00	m²		31.689,34 kg
Konstruktion	Fibercementplader - Cembit B9				31.689,34 kg
Byggevarer	Tagplade, Fibercement Cembit B9 - EPD	1,00	m³/m²	1.874,00	m² 31.689,34 kg
Bygningsdel	Lægter - tagflade - EPD DK	39,00	stk.		3.201,12 kg
Konstruktion	Træ lægter				3.201,12 kg
Byggevarer	Konstruktionstræ - EPD danmark	0,18	m³/stk.	7,02	m³ 3.201,12 kg
Hovedgruppe	Komplettering				23.495,50 kg
Type	Loft				23.495,50 kg
Bygningsdel	Loft (Træbeton) - EPD NO	1.715,00	m²		23.495,50 kg
Konstruktion	Træbetonloft - EPD danmark				23.495,50 kg
Byggevarer	Rockwool isolering (mineraluld)	0,14	m³/m²	240,10	m³ 6.002,50 kg
Byggevarer	Træbeton, Träullit white natural - EPD Norge	0,03	m³/m²	42,88	m³ 17.150,00 kg
Byggevarer	Dampspærre PE pr m²	1,00	m²/m²	1.715,00	m² 343,00 kg

Technical
University of
Denmark

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

www.byg.dtu.dk